

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



**VLIV TEPLoty NA PEVNOST
LEPENÉHO SPOJE**
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Boleslav Lang

2006

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv teploty na pevnost lepeného spoje

The effect of temperature on strength of the adhesive bonded joint

Boleslav Lang

KSP – TP - 768

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Hisem, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	84
Počet tabulek	22
Počet příloh	1
Počet obrázků	52

Datum: 26. 5. 2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Boleslav Lang

Téma práce: Vliv teploty na pevnost lepeného spoje

The effect of temperature on strength
of the adhesive bonded joint

Číslo DP: KSP - TP - 768

Vedoucí DP: Ing. Pavel Hisem, Ph.D.

Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá vlivem teploty prostředí na pevnostní vlastnosti lepeného spoje u karosářských plechů. Jednotlivé lepené spoje jsou za různých teplot okolí podrobeny zkoušce a následně porovnávány z hlediska mechanických vlastností a vzhledu porušené plochy.

Abstract:

The diploma work analyzed of the effect of the ambient temperature on strength properties of the adhesive bonded joint at the automobile body sheets. Individual bonded joints are tested under different surrounding temperatures with following comparison their mechanical characteristics and failure patterns of bonded joint.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 26. května 2006

.....
Boleslav Lang
Pražská 655
407 21 Česká Kamenice

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Hisemovi, Ph.D. za odbornou pomoc při provádění experimentální části, za cenné připomínky a podněty poskytnuté během vypracovávání zvoleného tématu, také bych chtěl poděkovat Ing. Michaele Kolnerové za poskytnutí potřebných informací a odbornou pomoc.

Dále bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a podporu během celého mého studia.

Obsah

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	11
2.1. LEPENÝ SPOJ	11
2.1.1. VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÍ	11
2.1.2. TEORIE LEPENÉHO SPOJE	13
2.1.3. REOLOGICKÉ VLASTNOSTI LEPENÉHO SPOJE	19
2.1.4. TECHNOLOGIE LEPENÍ	29
2.1.5. ZKOUŠKY	32
2.2. LEPIDLA	35
2.2.1. VLASTNOSTI LEPIDEL	36
2.2.2. KLASIFIKACE LEPIDEL	37
2.3. LEPIDLA A PLECHY POUŽÍVANÉ VE STAVBĚ KAROSERIE	42
2.3.1. LEPIDLA	42
2.3.2. LEPENÉ SPOJE VE STAVBĚ AUTOMOBILŮ	45
2.3.3. PLECHY VE STAVBĚ KAROSERI	48
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	53
3.1. ZÁMĚR EXPERIMENTU	53
3.2. CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	54
3.2.1. MAZIVA	54
3.2.2. LEPIDLA	54
3.2.3. SUBSTRÁT	57
3.3. PŘÍPRAVA VZORKŮ	57
3.4. POPIS NOREM A METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ	62
3.4.1. PEVNOST VE SMYKU PŘI ZATĚŽOVÁNÍ V TAHU PV 12.05... ..	62
3.4.2. OZNAČENÍ HLAVNÍCH TYPŮ PORUŠENÍ LEPENÉHO SPOJE POSLE ČSN ISO 10365	64
3.4.3. METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ DRUHŮ PORUŠENÍ	65
3.5. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	66
3.5.1. MECHANICKÉ HODNOTY LEPENÝCH SPOJŮ	66
3.5.2. DRUHY PORUŠENÍ	71
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	76
5. DISKUZE VÝSLEDKŮ	78
6. ZÁVĚR	80
SEZNAM LITERATURY	82
SEZNAM PŘÍLOH	84

Seznam použitých zkratek a symbolů

α	- faktor zvýšení napětí [1]
β	- faktor koncentrace napětí [1]
γ	- smyková deformace [1]
γ_0	- počáteční smyková deformace v čase $t=0$ [1]
$\dot{\gamma}$	- smyková rychlost [s^{-1}]
$\gamma_{píst}$	- smyková deformace pístu reologického modelu [1]
$\gamma_{pruž}$	- smyková deformace pružiny reologického modelu [1]
γ_{∞}	- limitní rovnovážná hodnota smykové deformace v čase $t \gg \theta$ [1]
δ	- krajní úhel
ζ	- molekulová koheze
η	- dynamická viskozita [$Pa \cdot s$]
θ	- relaxační doba - Maxwellův model [s]
θ	- retardační doba - Kelvinův model [s]
ρ	- hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
τ	- smykové napětí [$N \cdot m^{-2}$], [Pa]
τ_0	- počáteční smykové napětí v čase $t=0$ [$N \cdot m^{-2}$]
<i>AF</i>	- adhezní porušení
<i>aj.</i>	- a jiné
<i>atd.</i>	- a tak dále
<i>CF</i>	- kohezní typ porušení
cm^3	- centimetr krychlový
<i>CRS</i>	- ocelový plech bez povrchové vrstvy
<i>ČSN</i>	- Česká státní norma
<i>E</i>	- modul pružnosti ve tahu [Pa]
E_e	- modul pružnosti v tahu připojené pružiny Maxwellova generalizovaného modelu [Pa]
<i>EG</i>	- ocelový plech galvanicky pozinkovaný
F_{max}	- maximální síla [N]
f_m	- pevnost spoje
<i>G</i>	- modul pružnosti ve smyku [Pa]
<i>g</i>	- gram
<i>HDG</i>	- ocelový plech žárově pozinkovaný

<i>HDG + NIT</i>	- ocelový plech žárově pozinkovaný s fosfátovým povlakem
<i>kN</i>	- kiloNewton
<i>M</i>	- průměrná relativní molekulová hmotnost nezasíťovaného polymeru
<i>M_c</i>	- průměrná relativní molekulová hmotnost zasíťovaného polymeru
<i>m²</i>	- metr čtverečný
<i>mm</i>	- milimetr
<i>mm²</i>	- milimetr čtverečný
<i>MPa</i>	- megaPascal
<i>N</i>	- Newton
<i>n</i>	- počet měření
<i>např.</i>	- například
<i>obr.</i>	- obrázek
<i>R</i>	- plynová konstanta
<i>S</i>	- plocha [mm ²]
<i>SCF</i>	- speciální kohezní porušení
<i>s</i>	- směrodatná odchylka
<i>s_s</i>	- vnitřní napětí vyvolané smrštěním
<i>T</i>	- teplota [°C], [K]
<i>tab.</i>	- tabulka
<i>tzv.</i>	- tak zvaný
<i>x</i>	- aritmetický průměr
<i>°C</i>	- stupeň Celsia
<i>%</i>	- procento

1. ÚVOD [14]

Zvyšování technické úrovně konstrukcí v oblasti spojování klasických i moderních materiálů vedlo po 2. světové válce k prudkému rozvoji výroby syntetických lepidel, pojiv, tmelů a souběžně s tím i k rozvoji technologií umožňujících jejich racionální využití.

Lepení je všeobecně považováno za moderní technologii, i když ve skutečnosti je velmi staré. Příklady lepení lze nalézt již v době kamenné, kdy pračlověk objevil lepivost některých látek, a to pravděpodobně náhodou. Jedním z prvních příkladů lepení mohly být např. vlasy slepené krví nebo hmyz přilepený zasychající smolou. Archeologicky je lepení doloženo z Babylonu, kde byly nalezeny sošky s očima zalepenýma do hlavy.

Prakticky až do 2. světové války mohly být lepeny pouze materiály schopné vsáknout lepidlo (např. dřevo, kůže, textil, papír apod.). Lepení bylo využíváno především ve spotřebním průmyslu. Mezníkem v technologii lepení bylo jeho využití při výrobě letadel a objev fenolformaldehydové pryskyřice.

V současnosti lepení nachází využití prakticky ve všech odvětvích hospodářství – v kosmické a letecké technice, automobilovém průmyslu, při stavbě lodí, vagónů, obráběcích strojů, ve stavebnictví, v měřicí a regulační technice a dokonce i ve zdravotnictví.

Vzhledem k nárůstu požadavků na technickou úroveň konstrukcí, k různorodosti materiálů používaných u perspektivních výrobků a ke zvyšujícímu se podílu předem povrchově upravených materiálů se stále zvyšuje zájem o spojovací techniky s malým příkonem tepla. To nabízí lepení.

Poslední roky jsou charakterizovány velmi rychlým a dynamickým rozvojem této technologie. Je zřejmé, že nemůže zcela nahradit ostatní technologie spojování, jako je svařování a nýtování, ale budoucnost spojovací techniky leží v kombinaci těchto metod.

Pro úspěšné použití lepidel v praxi jsou důležité pokud možno podrobné znalosti technologie lepení a technologických vlastností používaných lepidel. Příčinou selhání lepeného spoje není v mnoha případech nízká pevnost lepidla, ale nedostatečná příprava lepených povrchů, použití nevhodného druhu lepidla či nevhodná konstrukce lepeného spoje.

Cílem řešení diplomové práce bylo posouzení vlivu teploty okolí na pevnost lepených spojů ve smyku u vybraných lepidel. Podmínky řešení by se měly co nejvíce přiblížit reálným provozním podmínkám lepených spojů použitých při konstrukci automobilu. Teplotní rozsah by měl co nejreálněji odpovídat vystavení lepených spojů běžnému provozu. Teoretická část je zaměřena na problematiku lepení, vznik spoje a jeho princip, dále na druhy a vlastnosti lepidel a plechů používaných v automobilovém průmyslu. Praktická část se zabývá zkouškami lepeného spoje, metodikou lepení a vyhodnocením druhu porušení.

2. TEORETICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

2.1. LEPENÝ SPOJ

Lepené spoje se řadí mezi nerozebíratelné spoje s materiálovým stykem. Ve srovnání s klasickými metodami spojování, tj. s nýtováním, svařováním, stloukáním, šroubováním a sešíváním, poskytuje lepení nové kombinační možnosti a dovoluje získat spoje takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné běžnými způsoby spojování. Technologie lepení se stává důležitým doplňkem tradičních metod spojování kovů a jedním ze základních způsobů spojování plastů i kombinovaných systémů téměř ve všech průmyslových odvětvích.

2.1.1. VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÍ [14]

Stejně jako jiné technologie, vyznačuje se lepení nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými a limitujícími činiteli. Při rozhodování o typu lepeného spoje je třeba kromě ekonomického hlediska zvážit technické přednosti, ale i nedostatky technologie lepení ve srovnání s tradičními způsoby spojování (např. svařováním, pájením, šroubováním, nýtováním). Lepení je třeba považovat za doplněk výše uvedených klasických metod spojování, nikoliv za jejich náhradu.

Výhody lepení lze shrnout do těchto bodů:

- lepení umožňuje spojování stejných (např. kombinace ocel – ocel, dural – dural, pryž – pryž, sklo – sklo aj.) nebo různých (např. kombinace ocel – dural, ocel – pryž, ocel – sklo, dural – pryž, pryž – sklo aj.) materiálů bez ohledu na jejich tloušťku,
- aplikací lepidel není narušena celistvost, profil ani estetický vzhled lepeného souboru,
- lepení umožňuje připravit spoje vodotěsné, plynotěsné, spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, příp. s dobrou elektrickou vodivostí,
- lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru,
- aplikací lepení lze uspořit náklady na výrobu lícovaných spojů,

- lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů,
- lepením se prakticky nezvyšuje hmotnost lepeného souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace,
- lepené spoje mohou být průhledné, v případě požadavku i barevně přizpůsobené,
- lepením lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázu atd.

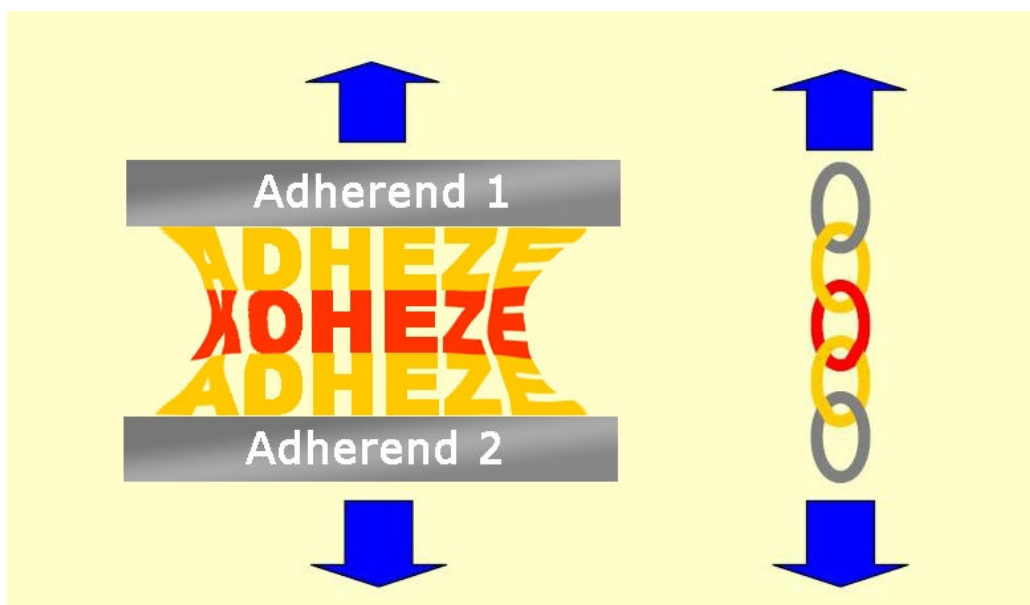
Nevýhody lepení lze shrnout do těchto bodů:

- lepení klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílů,
- u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu (např. použití aktivátorů),
- u některých lepidel je třeba použít vytvrzovací přípravky, příp. připravit směs několika složek (tzv. vícesložková lepidla),
- konstrukčně použitelné lepené spoje jsou nerozebíratelné,
- většina lepených spojů je citlivá na namáhání v odlupování,
- životnost některých typů lepidel je časově omezená,
- maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době (a to i pro „vteřinová“ lepidla!),
- lepené spoje mají omezenou odolnost proti vyšším teplotám,
- termoplastická lepidla jsou citlivá vůči dlouhodobému statickému namáhání, které způsobuje tečení polymerních složek lepidla,
- lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště (jsou potřeba nanášecí zařízení, lisy, přípravky apod.) atd.

2.1.2. TEORIE LEPENÉHO SPOJE [1, 2, 3, 5]

Vyvolání vzájemné přitažlivosti mezi dvěma tuhými materiály bez použití lepidla by předpokládalo, že spojované plochy budou k sobě přiblíženy na molekulární vzdálenost – tj. na méně než $3 \cdot 10^{-8} [cm]$. Tento požadavek nelze nikdy splnit, protože kontaktní plochy by musely být absolutně rovné, souběžné a čisté. Nebudeme-li brát v potaz technickou obtížnost takovýchto úprav, ztroskotáme nakonec na tom, že i ten nejhladší a nejčistší povrch je vlastně stejně pořád nerovný a je znečištěn stopami plynů a vodních par absorbovaných v jeho mikropórech.

Lepidlo vytváří spojovací můstek mezi povrchy dílů. Lepené součásti mohou přitom být jak ze stejného materiálu, tak z rozdílných materiálů. Předpokladem lepení je spojování částí (adherendů) prostřednictvím použití lepidel (adheziv). Výsledkem je vznik nerozebíratelného spoje, u kterého se využívají adhezivní síly mezi lepidlem a adherendem a vlastní koheze.



Obr.: 2.1 Struktura lepeného spoje

Adhezi lze definovat jako sílu přilnavosti, tj. mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách, které se společně označují jako síly Van der Waalsovy. Van der Waalsovy síly jsou velmi slabé přitažlivé

síly, které působí mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu. Dosah těchto mezimolekulárních sil je podstatně nižší než hloubka drsnosti mechanicky opracovaných ploch. Je tedy nutné, aby lepidlo vniklo do těchto povrchových nerovností a smáčelo dokonale obě plochy.

Koheze určuje vlastní pevnost lepidla. Je to vlastně souhrn sil, kterými se částice lepidla poutají k sobě. Kohezní síly vznikají působením vzájemných valenčních a mezimolekulových sil přitažlivosti (Van der Waalsovy síly). Označuje se jako vnitřní adheze. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, kterou je možno vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních.

Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze.

O vyjasnění podstaty adhezních jevů se pokusila řada autorů a řada teorií. Způsoby vysvětlení se liší. Dodnes si ještě nejsme jisti, která teorie je ta správná. Teorie se opírají s vztahy molekul a jejich vzájemné působení. Podle nejnovějších zjištění je sem třeba zařadit i vztahy vyplývající z nadmolekulární struktury. Při adhezi se uplatňují fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly.

Přehled nejčastěji citovaných teorií adheze:

a) Molekulová (adsorpční) teorie

Vychází z analogie jevu smáčení, absorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a adheziva (lepidla). Je nevyhnutelné, aby oba dva druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit na dvě stadia:

- transport molekul adheziva, k povrchu adherendu;
- vzájemné působení mezimolekulárních (van der Waalsových) sil po přiblížení molekul adheziva ke vzdálenosti menší, než $0,5\text{[nm]}$. Tento proces trvá až do dosažení adsorpční rovnováhy.

Za předpokladu dostatečného kontaktu (na molekulární úrovni) adherendu a adheziva postačují van der Waalsovy síly vzhledem ke své vysoké četnosti a dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti adhezního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu adherendu a adheziva, a proto úzce souvisí s dokonalou smáčivostí povrchu adherendu adhezivem.

b) Elektrostatická teorie

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozdílných substancí ve spoji, jako základ pro vznik adheze. Podle toho je spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Jakmile je oddělíme, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit, nebo vyzářit, jako elektronová emise. Při podrobnějších studiích však nebyla prokázána korelace mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností odpovídajících adhezních spojení.

d) Difúzní teorie

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (například polymery) mohou navzájem difundovat a průběh této difúze, který závisí především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherendu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti polymerů apod. ovlivňuje pevnost spoje. Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují (ale přitom se jako např. sklo – kov úspěšně lepí). Adhezivní jevy není však možné vysvětlit ani pomocí této teorie.

e) Chemická teorie

Na získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivní, ale jen kohezivní lom, je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit reagovaly vytvářením primárních chemických vazeb napříč rozhraním. Přestože někdy takovéto vazby vznikají, všeobecně lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb

neumožňují. Pokud by tyto podmínky nastaly, nelze tvrdit, že vazbové reakce budou probíhat jen na povrchu materiálů, ani to, v jakém rozsahu takové reakce pevnost spoje ovlivňují, nebo jestli pevnost jednoznačně zvyšují.

f) Reologická teorie

Je to teorie, podle které ať adhezi na rozhraní dvou materiálů způsobuje cokoliv, pevnost adhezního spoje je daná zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytváří lepený systém. Při podrobném zkoumání lomů bylo zjištěno, že roztrhnutí pevného spoje nikdy neprobíhá na jeho rozhraní, nýbrž se jedná téměř vždy o lom kohezivní. Proto bude mít koheze jednotlivých součástí systému velký význam. Toto vysvětlení neřeší otázky příčiny vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje.

Často se také zmiňuje pojem **mechanická adheze**, který je však potřebné z oblasti teorie adheze vyloučit, neboť jde o jakýsi mechanický spoj, podobný ve více detailech spoji mezi hřebíkem a dřevem. I název vysvětluje mechanický charakter tohoto spoje, i když se tu používá lepidlo, jako prostředek na vytvoření mechanického zachycení dvou povrchů s využitím povrchových nerovností, dutin, pórů, výstupků apod.. Pevnost lepeného spoje je v tomto případě dána především mechanickými vlastnostmi lepidla.

Mechanismus adheze lze nejlépe objasnit dle reologické teorie. Dle Bickermana spočívá v tom, že je spoj *slabý*, pokud jsou ve spoji přítomny slabé adhezivní vazby (nedostatečné vazby) a *pevný*, pokud jsou přítomny pevné vazby. Spoj pomocí lepidla je nutno vidět jako systém, který se skládá z 5 vrstev:

- adherend č.1
- vazební vrstva č.1
- lepidlo
- vazební vrstva č.2
- adherend č.2

Za **pevný** (pravý) **spoj** považujeme spoj, jehož vrstvy jsou tak pevné, že lom probíhá mimo ně.

Za **slabý** (nepravý) **spoj** považujeme spoj, jehož lom probíhá ve vazební vrstvě, tu v tomto případě nazveme slabá vazební vrstva.

Pro vznik pevného spoje je nevyhnutelně potřebné nahradit slabé vazební vrstvy pevnými.

Slabé vazby mohou způsobit:

- naadsorbované vrstvy plynu
- naadsorbované vrstvy kapaliny
- částice tuhých látek na povrchu
- tuhé vrstvy na povrchu, s menší kohezí, než má adherend, nebo lepidlo
- použití nevhodného způsobu nanášení lepidla
- nevhodná volba lepidla, resp. jeho složení
- nevhodné vytvrzování

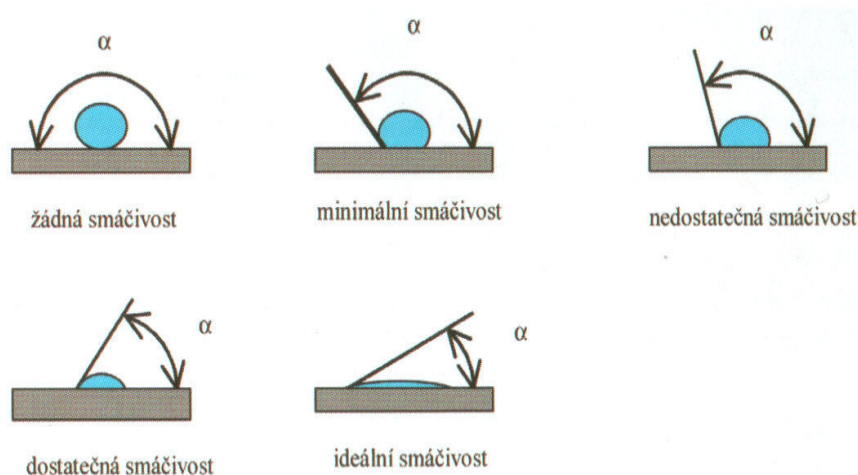
Odstranění slabých vazeb znamená vytvořit takový vztah mezi substrátem a lepidlem, při kterém bude mít samo lepidlo takovou smáčivost, že odstraní slabou vazební vrstvu, a to jak vzduchovou nebo olejovou, a při nanášení co nejdokonaleji rovnoměrně pokryje celou lepenou plochu.

Úpravy adherendu za účelem vzniku pevného spoje spočívají v jeho povrchové úpravě. Pokud se vyčištěním povrchu adherendu podaří odstranit všechny slabé vazební vrstvy, získáme pevný spoj. Z tohoto důvodu je důležité věnovat úpravě povrchu před lepením velkou pozornost.

Aby lepidlo odstranilo další příčinu slabých vazebních vrstev, a to vzduch, musí adherend dobře smáčet. Stupeň smáčivosti pevného povrchu s lepidlem lze kvantitativně vyjádřit úhlem smáčení, tzv. kontaktním úhlem, který svírá okraj kapky lepidla se základním materiálem. Má-li lepidlo smáčet pevný povrch látky, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepené látky.

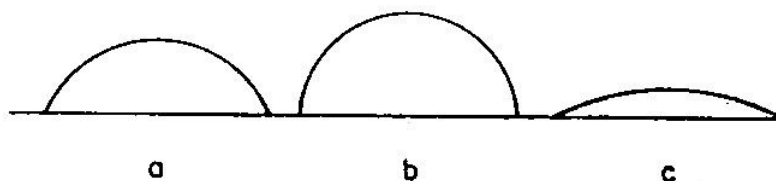
Smáčivost lepených povrchů můžeme hodnotit kapkovou metodou. Dobře smáčivé jsou látky, u nichž je krajový (elevační) úhel α menší než 90° . Tento úhel určuje rozdíl povrchových napětí lepidla a vzduchu. Je-li rozdíl kladný, pak je elevační úhel ostrý a lepidlo dobře smáčí povrch (obr. 2.2). Pokud je tomu naopak (rozdíl je záporný \Rightarrow úhel je tupý), pak lepidlo povrch

nesmáčí. Nejvyšší povrchovou energii z kapalin má voda. Jestliže voda bude smáčet povrch materiálu, lze z toho usoudit, že materiál bude smáčen i jinými kapalinami (lepidly).



Obr. 2.2 Smáčivost lepidel

Určité problémy zde způsobuje hystereze smáčení (obr. 2.3), tj. jev, při kterém na stejné základně kapky může být různý objem kapaliny, a bude tedy rozdílný kontaktní úhel. Tato hystereze se zejména projeví na nerovném povrchu, tzn., že těsně za nerovností bude kontaktní úhel jiný, než na dokonale hladkém povrchu.



Obr. 2.3 Hystereze smáčení

Kromě hystereze smáčení je ještě důležitým faktorem rychlost smáčení, na které se zúčastní povrchové napětí, viskozita kapaliny a kapilární síly. Z odvození tohoto tvrzení lze dospět k těmto závěrům:

- Viskozita lepidla má být v okamžiku nanášení tak nízká, aby čas vyplnění kapilár a dutin byl dostatečně krátký v porovnání se změnami

lepidla s časem od nanesení (platí pro tavná a rozpouštědlová lepidla).

- Dobrého smáčení lze dosáhnout, pokud se kontaktní úhel rovná, nebo je blízký nule.
- Protože hodnotu kontaktního úhlu ovlivňují nečistoty, (částečně i povrchové nerovnosti vzhledem k hysterezi smáčení) nelze předem tvrdit, že povrch A bude dobře smáčený kapalinou L, protože tomu může bránit znečištění i tam, kde jsme dobré smáčení oprávněně očekávali.
- Vzduch se obvykle lépe odstraní, pokud lepidlo obsahuje rozpouštědlo s nízkým povrchovým napětím. Nelze však zaručit, že tuhé částice lepidla po odpaření rozpouštědla přilnou k podkladu víc, než vzduch, který se případně nepodařilo odstranit.
- Povrchové nerovnosti, pokud se do nich lepidlo (rozpouštědlo) dostane, nemají závažný vliv na odstranění vzduchu.
- Kromě rychlosti smáčení má velký význam i čas kontaktu lepidla (smáčedla) s povrchem. Pokud je možné kontakt vylepšit působením tlaku, je užitečné oba tyto faktory kombinovat.

Z těchto bodů vyplývá, že všechny způsoby, které mohou zlepšit kontakt lepidla s povrchem, tj. rozpouštědla s nízkým povrchovým napětím, nízká viskozita, a tedy všeobecně vyšší teplota, přiměřený tlak a co nejdelší čas kontaktu jsou hlavními předpoklady vzniku pevného spoje.

2.1.3. REOLOGICKÉ VLASTNOSTI LEPENÉHO SPOJE [1, 4, 6, 10]

Z předešlého vyplývá, že prakticky všechny lomy lepeného spoje probíhají především v materiálech spoje a pevnost spoje musí být tedy úměrná kohezivní pevnosti nejslabší složky systému. Rychlý rozvoj syntetických lepidel, jejichž složení poměrně přesně známe, nám umožňuje dost přesně analyzovat chování těchto materiálů při namáhání.

Hookeovská elasticita a newtonský tok jsou dva mezní případy reologického chování. Polymery se k jednomu či druhému extrému mohou podle vnějších podmínek více nebo méně přiblížit. Reologická teorie charakterizuje skupiny polymerů podle známých mechanických modelů chování, ze kterých se nejčastěji uvádí Maxwellův, Kelvin-Voigtův, případně Tuckettův model. Základními prvky reologických modelů jsou ocelová pružina (symbol hookeovské elasticity) a píst (jako symbol newtonského viskózního toku). Píst, je válcová nádoba naplněná kapalinou o viskozitě, ve které se může pohybovat tyčinka zakončená kuličkou nebo válečkem.

Pružina se při deformaci se řídí rovnicí

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (1)$$

kde značí τ - smykové napětí [MPa]

G - modul pružnosti ve smyku [Pa]

γ - smykovou deformaci

a pohyb pístu se řídí rovnicí

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

kde značí η - dynamickou viskozitu [Pa · s]

$\dot{\gamma}$ - smykovou rychlost [s⁻¹]

U obou prvků se rozměry volí tak, aby geometrické konstanty byly jednotkové.

Reologický model vytvořený paralelním spojením obou prvků se nazývá *Kelvinův*, popř. *Voigtův*, sériové spojení je model *Maxwellův*, sériové spojení prvku Kelvinova a Maxwellova je model *Tuckettův*. Čím větší je počet prvků v modelu, tím lépe vystihuje model reologické chování reálného systému.

Kelvinův model je znázorněn na obr. 2.4. Při paralelním spojení pružiny s pístem je přechod pružiny z jednoho deformačního stavu do druhého brzděn – zpoždován viskózním prvkem. Kelvinův model se tedy deformuje vratně, ale jeho elasticita není okamžitá, nýbrž časově závislá. Je to elasticita

brzděná, zpožděná. Deformace obou prvků jsou stejné a napětí přispívají aditivně k napětí celkovému.

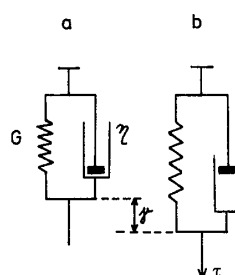
$$\gamma_{pruž} = \gamma_{píst} = \gamma \quad (3)$$

$$\tau_{pruž} + \tau_{píst} = \tau \quad (4)$$

kde τ je celkové napětí modelu, γ - jeho deformace.

Diferenciální rovnice Kelvinova modelu je:

$$G \cdot \gamma + \eta \cdot \frac{d\gamma}{dt} = \tau \quad (5)$$



Obr. 2.4 Kelvinův model, a - nedeformovaný, b - deformovaný účinkem napětí τ

Kríp Kelvinova modelu:

Krípem se rozumí závislost deformace na čase při konstantním napětí. Napětí τ_0 se zavede skokem v určitém čase, zpravidla při $t = 0$. U reálných materiálů se kríp měří, u modelu jej lze vypočítat z diferenciální rovnice při zavedení příslušných podmínek.

Deformační odezva Kelvinova modelu:

$$\gamma(t) = \gamma_{\infty} \cdot (1 - e^{-t/\theta}) \quad (6)$$

$$\gamma_{\infty} = \frac{\tau_0}{G} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\eta}{G} \quad (8)$$

Veličina θ má rozměr času a určuje rychlost přechodu z nedeformovaného stavu do stavu deformovaného. Nazývá se *retardační doba*. V čase t rovném retardační době θ osáhne Kelvinův model při kríčovém pokusu 63,2% rovnovážné deformace. Pro časy $t \gg \theta$ nabývá deformace limitní rovnovážné hodnoty γ_{∞} , která je dána pouze vlastnostmi pružiny a nezávisí na viskozitě kapaliny v pístu.

Maxwellův model popisuje tok komplikovaný elasticitou nebo naopak elasticitou, která odeznívá tokem. Při sériovém spojení prvků je celková deformace rovna součtu deformací prvků, kdežto napětí je v obou prvcích a v celém modelu stejné (viz *obr. 2.5*)

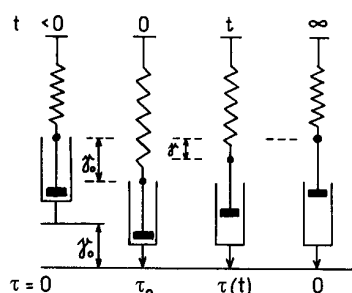
$$\gamma_{pruž} + \gamma_{píst} = \gamma \quad (9)$$

$$\tau_{pruž} = \tau_{píst} = \tau \quad (10)$$

Diferenciální rovnice Maxwellova modelu je:

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{\tau}{\theta} = \frac{d\gamma}{dt} \cdot G \quad (11)$$

Veličina $\theta = \frac{\eta}{G}$ se nazývá *relaxační doba*.



Obr. 2.5 Maxwellův model a relaxační pokus

Relaxace napětí Maxwellova modelu:

Při relaxačním pokusu se v určitém čase skokem vloží konstantní deformace γ_0 . Při vložení deformace pružina zareaguje okamžitě, zatímco deformace pístu je nulová. Vzniklé počáteční napětí τ_0 je dáno pouze hookeovskou odezvou pružiny. Během času se však píst tahem pružiny pohybuje, deformace pružiny klesá a tím klesá (relaxuje) napětí v modelu. Napětí Maxwellova modelu relaxuje při konstantní deformaci exponenciálně z počáteční hodnoty až na nulu pro čas $t \gg \theta$.

Závislost napětí na čase Maxwellova modelu:

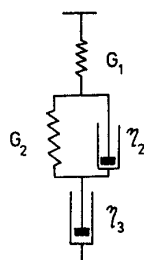
$$\tau(t) = \tau_0 \cdot e^{-t/\theta} \quad (12)$$

V čase t rovném relaxační době θ poklesne napětí na 36,8% počáteční hodnoty. Za čtyřnásobek relaxační doby zbývá v modelu jen 1,8% počátečního napětí. Relaxace je tím rychlejší, čím menší je viskozita kapaliny v pístu a čím je tuhost pružiny (její modul) větší. U reálných materiálů se časový průběh relaxace napětí stanovuje experimentálně.

Tuckettův model. Viskoelasticitu materiálu je možné komplexně znázornit *Tuckettovým modelem*, který z kvalitativního hlediska dobře vystihuje chování skutečných polymerů. Tuckettův model (*obr. 2.6*) je sériové spojení pružiny s modulem G_1 , Kelvinova modelu s modulem G_2 a viskozitou η_2 a tokového prvku s viskozitou η_3 .

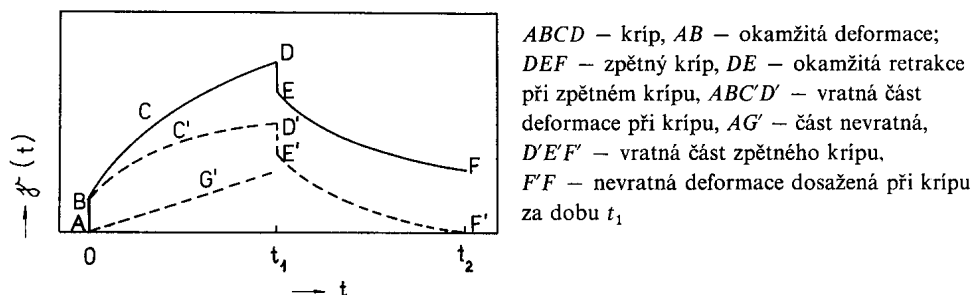
Deformace všech tří součástí Tuckettova modelu jsou aditivní, a model se tedy při krípu (toku) řídí rovnicí:

$$\gamma(t) = \tau_0 \cdot \left[\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \cdot (1 - e^{-t/\theta}) + \frac{1}{\eta_3} \cdot t \right] \quad (13)$$



Obr. 2.6 Tuckettův model

Na *obr. 2.7* jsou schématicky znázorněny křivky krípu a zpětného krípu v lineární časové stupnici. Tokový prvek zapojený v Tuckettově modelu se při konstantním napětí deformuje lineárně s časem (AG') a křivková křivka Tuckettova modelu je rovna součtu křivky $ABC'D'$ a přímky AG' . Probíhá body $ABCD$ a po dlouhých dobách se stává lineární, se směrnici τ_0 / η_3 . Zpětný kríp se skládá z okamžitého zotavení DE ideálně elastické pružiny a ze zpožděně elastického zotavení EF Kelvinova modelu, které dohromady dávají vratnou deformaci. Zbývá deformace je nevratná a zvětšuje se s dobou předchozího krípu, popř. s teplotou, při které byl kríp proveden.

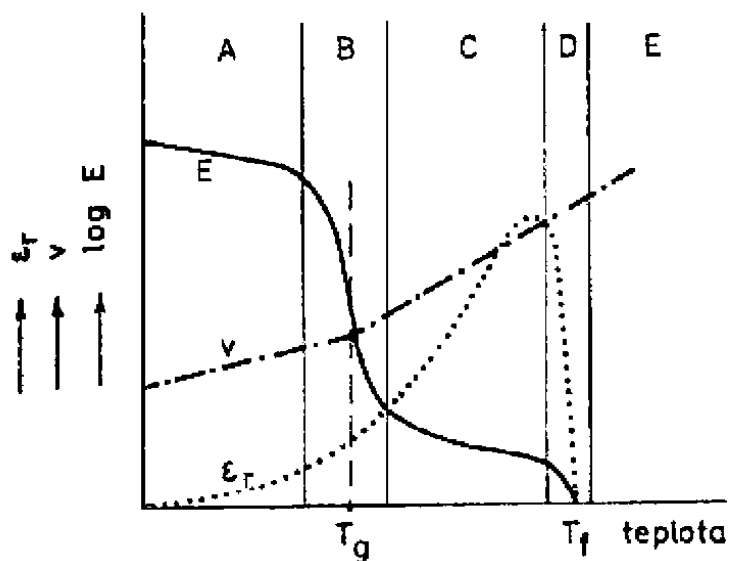


Obr. 2.7 Schéma vlastností Tuckettova modelu

Teplota má výrazný vliv na zastoupení jednotlivých typů deformačního chování v rámci těchto modelů. Se vzrůstající teplotou se snižuje podíl elastické deformace, zvyšuje se podíl zpožděně elastické a plastické deformace (viskózní tok). U zesíťovaných polymerů je viskózní tok i při vyšších teplotách výrazně potlačen a modul pružnosti se teplotou snižuje výrazně pomaleji, než u termoplastů.

Tyto modely však v běžné praxi lepeného spoje nevyhovují, protože kromě základních mechanických (statických i dynamických) vlastností polymerů je nutné brát do úvahy vnitřní napětí, vznikající při vytvrzování, krystalizaci, kolísání teploty zejména v oblasti okolo bodu přechodu druhého řádu a při působení dalších vlivů. Tyto napětí se zpravidla ještě kombinují bublinami a trhlinami různého původu, tvaru a zejména umístění v lepené vrstvě. Jejich počet a velikost mají také velký význam.

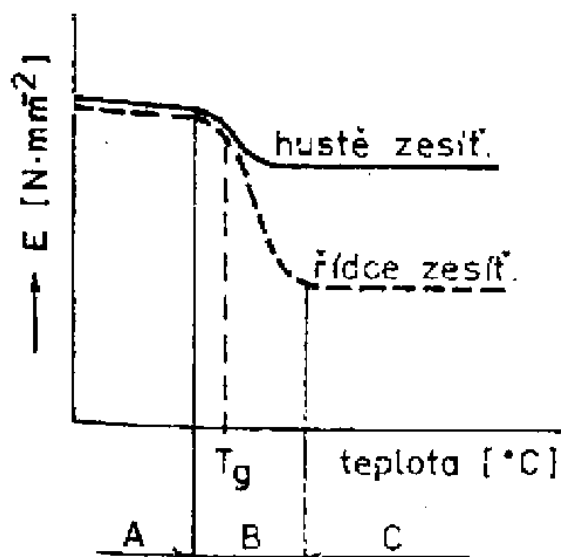
V reologickém chování plastů za vyšších teplot bude velký rozdíl mezi lineárními amorfními polymery a zesíťovanými polymery. Budeme-li sledovat závislost modul pružnosti, měrného objemu a tažnosti na teplotě u amorfních polymerů, zjistíme při teplotě označené T_g výrazné změny vlastností jak je patrné z obr. 2.8.



Obr.2.8 Schématický průběh závislosti měrného objemu v , modulu pružnosti E a tažnosti ϵ_r lineárního amorfního polymeru na teplotě.

V okolí teploty zesklenní T_g se modul pružnosti mění asi o tři řády, koeficient teplotní roztažnosti asi o 100%, na závislosti měrného objemu a indexu lomu je patrný zlom. Z termodynamického hlediska lze chování polymeru vysvětlit na základě Brownova pohybu makromolekul, který závisí na teplotě. Právě teplota T_g má rozhodující vliv na změnu Brownova mikropohybu (pod T_g), kdy se vzájemná poloha makromolekul nemění a molekuly rotují, nebo se kývají kolem střední polohy, na Brownův makropohyb (nad T_g), kdy se molekuly pohybují jako celek, což se projevuje změnou vzájemné polohy. Hmota nabývá kaučukovitou pružnost.

Zesíťované polymery se chovají ve srovnání s lineárními odlišně. Tuhá síť chemických vazeb vylučuje přesuny makromolekul jako celku a konformačním změnám mohou podléhat jen velmi omezené úseky řetězců. Proto u nich můžeme při zvyšování teploty nalézt jen náznak kaučukovité pružnosti viz obr.2 9. Modul pružnosti má stále vysokou hodnotu, která zůstává víceméně konstantní, až do teploty rozkladu.



Obr. 2.9 Závislost modulu pružnosti zesíťovaných polymerů na teplotě A- sklovitý stav, B- přechodová oblast, C- náznak kaučukovitého stavu

Z praktického hlediska je nejjednodušší hodnotit tokově-reologické vlastnosti lepidel pomocí modulu pružnosti v tahu a v ohybu. Základním pravidlem je, aby moduly pružnosti všech složek lepeného systému byly navzájem co nejblíže. Určitý všeobecný obraz o chování materiálu nám zpravidla dává i údaj o molekulové hmotnosti polymeru, resp. vztah této veličiny k rovnovážnému modulu pružnosti. Ze zmíněného Maxwelllova a Kelvin-Voigtovo modelu byl odvozen vztah:

$$E_e = \frac{3 \cdot \rho \cdot R \cdot T}{M_c} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot M_c}{M} \right) \quad (14)$$

kde E_e je rovnovážný modul pružnosti pro čas působení zatížení $t = \infty$,

M - průměrná relativní molekulová hmotnost nezesíťovaného polymeru

M_c - průměrná relativní molekulová hmotnost zesíťovaného polymeru

ρ - hustota polymeru za dané teploty

R - plynová konstanta

T - absolutní teplota

Pro izotropické, nestlačitelné polymery se obvykle udává poměr modulů v tahu a v ohybu vztahem

$$E = 3 \cdot G \quad (15)$$

Polymery se podle mechanických vlastností obvykle rozdělují do tří skupin: tvrdé, houževnaté a měkké. Pokud by se tedy lepená vrstva skládala z čistého polymeru, který by patřil do některé z těchto skupin, základní reologické chování by odpovídalo typovému diagramu pro příslušnou skupinu (např. polystyrén, epoxidy apod.).

Uvažujeme-li o pevnosti spoje, berme do úvahy i ostatní reologické vlastnosti, můžeme předpokládat, že výsledná pevnost bude záviset na molekulové kohezi, vnitřních napětích vyvolaných nadmolekulovou strukturou a faktorech koncentrace napětí vyvolaných geometrickými poměry a bublinami ve spoji. Vzájemný vztah těchto faktorů formuloval Bikerman do rovnice

$$\zeta = (\alpha \cdot f_m + s_s) \cdot \beta \quad (16)$$

kde ζ je molekulová koheze

f_m - pevnost spoje

s_s - vnitřní napětí (vyvolané smrštěním apod.)

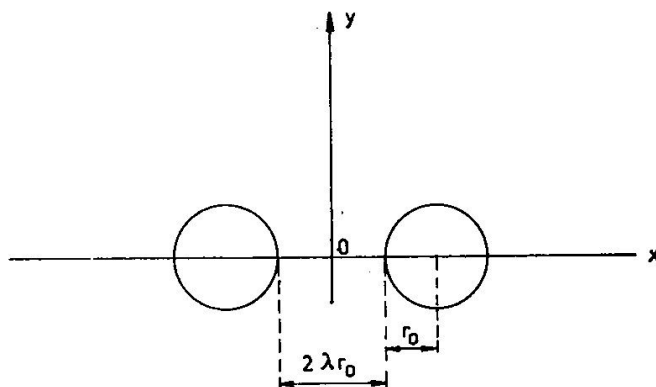
α, β - faktory zvýšení a koncentrace napětí

Tento vztah je spíše pomůckou pro uvědomění si úlohy jednotlivých faktorů, než exaktní rovnicí, resp. matematickým tvrzením.

Koeficient α vyjadřuje rozdíl mechanických konstant adherendu a adheziva a je tím větší, čím větší jsou rozdíly. Pokud je ve spoji přítomna slabá vazební vrstva nahradí její pevnost v tomto rozdílu pevnost adheziva, čímž hodnota faktoru ještě vzroste.

Koeficient β vyjadřuje strukturální nerovnoměrnost tuhého materiálu (lepidlo) a distribuci slabých míst, jejich tvar a počet. Často se označuje jako faktor koncentrace napětí a závisí na tvaru prvku, který způsobuje koncentraci napětí. Nejnižší hodnoty dosahuje β u samostatných kruhových dutin, mnohem vyšších hodnot, tedy i napětí vzniká u eliptických dutin. U čtvercových dutin se konstatuje nejvyšší napětí v rozích, přičemž skutečná hodnota β závidí na poměru šířky a délky dutiny.

V případě dvou kruhových dutin (obr 2.10) bude velikost napětí závislé na jejich vzájemné vzdálenosti a na směru působení venkovních sil.



Obr 2.10 Napětí ve vrstvě se dvěma kruhovými dutinami

Pokud namáhání působí ve směru osy y , dvě dutiny oslabují spoj více, než jedna, pokud ale zatěžující síla působí ve směru osy x , jsou dvě kruhové díry méně nebezpečné, než jedna.

Dutiny, které vznikly v lepené vrstvě přímo, ovlivňují tokové a pevnostní vlastnosti spoje a v technologii se musí dělat praktická opatření k zamezení jejich výskytu (vakuování lepidla, vyšší tlak a teplota při vytvrzování, důkladná hladkost a rovnost povrchu apod.).

Kromě faktorů zvýšení a koncentrace napětí se do výsledné pevnosti lepeného spoje zapojuje ještě jedna veličina, která ovlivňuje chování spoje při namáhání a souvisí s reologickými vlastnostmi. Jde o *skryté vnitřní napětí*, které je způsobeno změnou struktury při vytvrzování (a následném chladnutí), přičemž nastává postupné smršťování (snižování) objemu. Hodnoty napětí vyvolané smrštěním platí do okamžiku, kdy je tuhý materiál v konečném stavu bez napětí, tj. pokud se koncentrace nezmenšila působením vnějších sil. Daleko od hrany spoje, tj. v oblasti, kde působí skryté vnitřní napětí kolmo na lepenou plochu, má toto napětí ve vytvrzeném filmu lepidla hodnotu

$$s = \frac{E_2 \cdot (h_0 + h_1)}{h_0} \quad (17)$$

kde E_2 je modul pružnosti lepidla (musíme vycházet ze zjednodušení

skutečného stavu, a to z předpokladu, že se lepidlo ve vytvrzeném stavu chová podle Hookeova zákona)

h_0 - konstantní tloušťka lepidla, která vyplní prostor mezi rovnoběžnými plochami spoje

h_1 - tloušťka lepidla po vytvrzení za podmínky, že při vytvrzování nebudou působit vnější síly

Trhlina ve spoji nevznikne, pokud je s menší, než konečná pevnost lepidla v tahu, ale síla, kterou má spoj přenášet musí být úměrně této veličině menší.

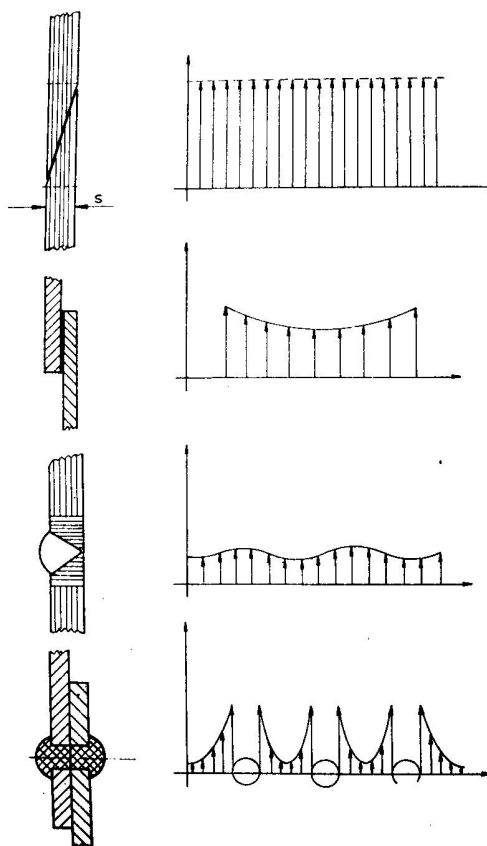
2.1.4. TECHNOLOGIE LEPENÍ [1, 2, 13]

Technologii lepení lze charakterizovat, jako soubor operací, při kterých se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných, či různých substrátů pomocí vybraného adheziva.

Správné podmínky pro vytvoření kvalitního lepeného spoje lze postavit takto:

- správný návrh konstrukce spoje
- správná volba materiálů (lepidlo + adherend)
- správná povrchová úprava adherendů
- zachování předepsaného postupu použití zvoleného lepidla
- vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb

Konstrukční analýza vychází z potřeby vytvořit spojení dvou konstrukčních částí, které může být nerozebíratelné, ale musí zaručovat žádanou pevnost, bezpečnost a lze ho vytvořit co nejjednoduššími prostředky. V této souvislosti se obvykle porovnávají lepené spoje s ostatními způsoby spojování (viz obr. 2.11).








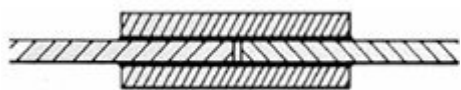


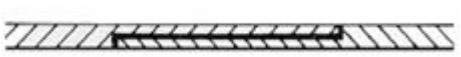
Obr. 2.11 Napětí ve spojích

Nejdůležitější výhodou lepených spojů je ve srovnání se spoji klasickými zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje. Při nýtování a šroubování otvory zmenšují průřez spojovaných dílů a kromě toho vyvolávají vysokou koncentraci napětí, takže spojovaný materiál nemůže být pevnostně využit. Pevnostní výhody lepených spojů proti svařování nejsou vždy tak jednoznačné.

Lepený spoj by měl být navržen tak, aby zatížení působilo ve směru největší pevnosti lepeného spoje, tj. minimalizovat možnost případného porušení v důsledku nesprávné konstrukce. Zároveň by měla být plocha lepeného spoje maximální, lepicí vrstva maximálně rovnoměrná, souvislá a co nejtenčí. Koncentraci napětí se snažíme snížit na minimum.

V následující tabulce jsou uvedeny příklady lepených spojů desek a fólií.

Tab. 2.1 Příklady spojů desek a fólií

Typ spoje	Pevnostní charakteristika
Jednoduchý přeplátovaný spoj 	dobrá
Zúžený přeplátovaný spoj 	velmi dobrá
Seříznutý spoj 	vynikající
Tupý čelní spoj 	vhodné jen pro siné plechy
Přeplátovaný spojený pásem 	dostačující
Dvojitě přeplátovaný spojený pásem 	velmi dobrá
Dvojitě přeplátovaný spoj se zúženými pásy 	vynikající
Dvojitě přeložený spoj 	velmi dobrá
Stupňovitě přeložený spoj 	velmi dobrá

2.1.5. ZKOUŠKY [8, 9, 15, 16, 17]

Rozsáhlý sortiment lepidel, substrátů, a tím i jejich kombinací poskytuje skoro nekonečné možnosti tvorby lepených systémů. Aby nevznikal nepřiměřený počet nejrozličnějších, jen částečně objektivních zkoušek, je potřeba zkušební systém neustále zdokonalovat. Hlavní směry a zkoušky se týkají zkoušení vlastností lepidel, zkoušení lepených spojů ale také metody zkoušek měření adheze.

Při zkoušení lepených spojů i jednotlivých složek spoje je nejčastější otázka pevnosti. Důležité jsou ale i ostatní mechanické vlastnosti.

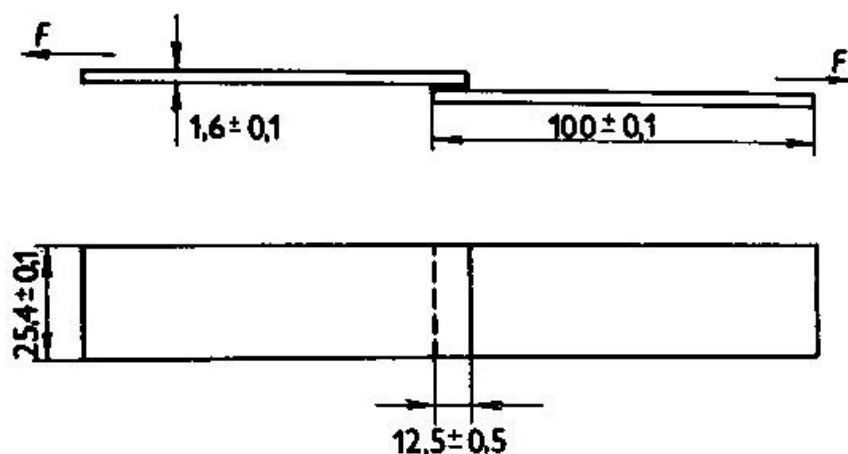
Zkoušky mechanických vlastností lze rozdělit takto:

- destruktivní
 - metody nerovnoměrného odtržení
 - a) zkoušky spojů tuhých materiálů
 - b) zkoušky spojů, ve kterých je alespoň jeden substrát ohybný
 - metody rovnoměrného odtržení
 - a) zkoušky systému guma-kov
 - b) zkoušky systému plast-kov
 - c) zkoušky jiných kombinací substrátů
 - metody s využitím napětí ve smyku
- nedestruktivní metody založené na použití
 - radioaktivního záření
 - akustické a ultrazvukové rezonance
 - elektronové mikroskopie
 - elektronové emise
 - porovnání elektrické impedance, dielektrické konstanty, tepelné vodivosti
 - infračerveného záření
 - laserových paprsků
 - holografie

Následuje přehled některých destruktivních zkoušek lepených spojů kovů.

Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech dle ČSN EN 1465

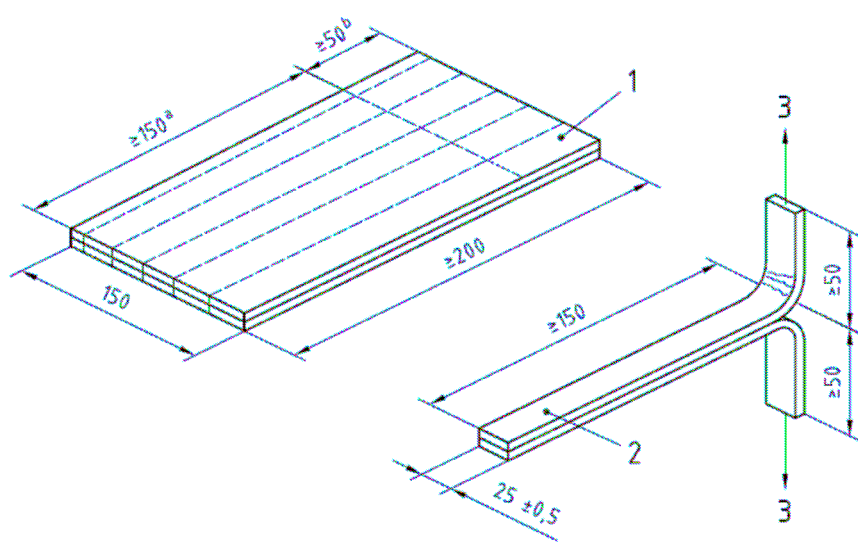
Podstatou zkoušek je namáhání zkušebního spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Tvar a rozměry zkušebních vzorků je na *obr. 2.12*. Pevnost ve smyku se udává v Mpa .



Obr. 2.12 Vzorek pro zkoušky pevnosti ve smyku podle ČSN EN 1465

T-zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů dle ČSN EN ISO 11339

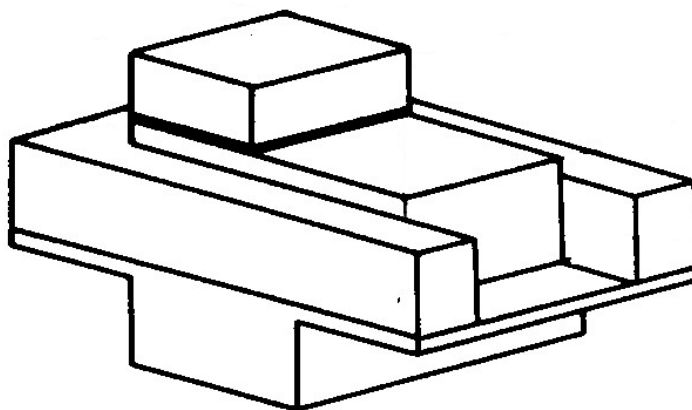
Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje odlupováním statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu. Pevností v odlupování se rozumí síla v $N \cdot mm^{-1}$ potřebná k oddělení dvou slepených ploch.



Obr. 2.13 Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování podle ČSN EN 11339

Zkušební metoda pro hodnocení rázové pevnosti lepených spojů ve smyku dle ČSN EN ISO 9653

Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Rázová pevnost se udává v $J \cdot cm^{-1}$.



Obr. 2.14 Rozměry vzorku a jeho uložení ve zkušebním zařízení pro zkoušku rázové pevnosti podle ČSN EN ISO 9653

Pevnost ve smyku při dlouhodobém staticky působícím zatížení

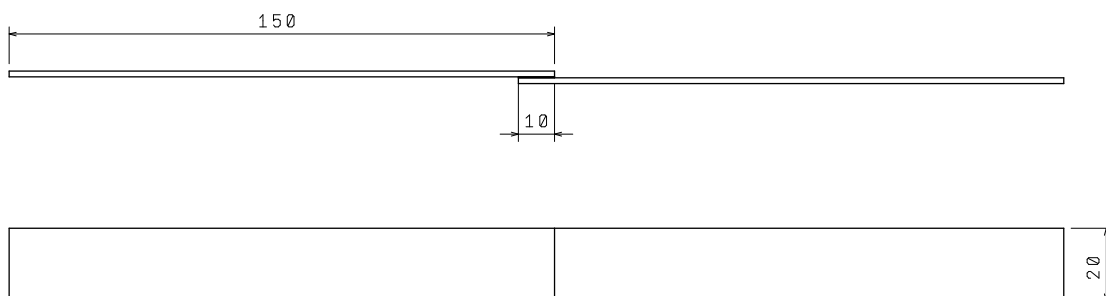
Podstatou creepové zkoušky je měření délky vzájemného posunutí obou polovin lepeného vzorku za současného zjištění meze tečení. Používá se vzorku podle obr. 2.12. Výsledkem zkoušky je maximální napětí ve smyku, při kterém se žádný vzorek ze série pěti kusů neporuší během stanovené doby, např. 200, 1 000 nebo 10 000 hodin.

Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku tahem dle ČSN EN ISO 9664

Únavová pevnost ve smyku tahem při míjivém cyklickém zatěžování je hodnota maximálního smykového napětí, při kterém se žádný ze série pěti kusů zkušebních vzorků neporuší po $2 \cdot 10^7$ cyklech. Zkouší se na vzorcích podle obr. 2.12, tloušťka vzorku je však 2mm a přeplátování 10mm. Většinou se používá kmitočet 43,3Hz.

Stanovení smykové pevnosti při zatěžování tahem dle normy PV**12.05**

Jedná se o podnikovou normu koncernu VW, vycházející z původní normy ČSN EN 1465, která pro zkoušku zahrnuje specifické podmínky vzniku spoje při lepení spojů karosérie automobilu v praxi.



Obr. 2.15 Tvar zkušebních vzorků dle PV 12.05

2.2. LEPIDLA [1]

Lepidlo je materiál,

- a) vytvářející spoj mezi povrchy adherendů účinkem adheze
- b) schopen držet u sebe povrchy tuhých látek pomocí adhezních a kohezních sil.

Moderní lepidla by měla především:

- zajišťovat dostatečnou pevnost spoje
- mít dostatečnou lepivost v tekutém stavu
- poskytovat spoje s co největší tepelnou odolností
- poskytovat spoje s co největší odolností proti vnějším vlivům (vodě, chemickým činitelům apod.)
- při vytvrzování se co nejméně smršťovat
- mít vhodné elektrochemické vlastnosti
- mít dobrou skladovatelnost
- vyžadovat minimální úpravu povrchu adherendu před lepením
- umožňovat jednoduché nanášení

2.2.1. VLASTNOSTI LEPIDEL [1]

Pokud charakterizujeme lepidlo, musíme hodnotit jeho základní vlastnosti. Nejdůležitější jsou vlastnosti adhezivního základu. Budeme se zabývat lepidly patřící do třídy materiálů, které také známe jako polymery, plasty nebo syntetické a přírodní pryskyřice.

Jejich nejdůležitější vlastnosti jsou:

Chemická struktura – ovlivňující polaritu a reaktivitu lepidla. Polarita podstatě pomáhá určit, jaký polymer bude vhodný na adhezivní základ lepidla. Dle názoru McLarena „adhezivní vazbu může vytvořit pouze polární látka s polární“. Reaktivita lepidla závisí nejen na struktuře adhezivního základu lepidla, ale i na dalších složkách, zejména katalyzátorech.

Skladovatelnost lepidla je čas, během kterého se mění reaktivita lepidla. Lepidlo ztrácí schopnost vytvrzovat. Mění se také konzistence a ostatní vlastnosti.

Životnost po smíchání, nebo také *montážní čas* – u reaktivních lepidel. Jde o čas, který uplyne od začátků smíchání s katalyzátorem do začátku želatinace. V této době je potřebné oba substráty přiložit k sobě za účelem vytvoření spoje.

Vytvrzovací cyklus je vlastnost, která souvisí a reaktivitou lepidla, ale i s vytvrzovacími podmínkami.

Tekutost lepidla, související s viskozitou, ovlivňující nejen technologii nanášení lepidla, ale i tloušťku naneseného filmu a tlak lepení.

Tixotropní, resp. *reopexní vlastnosti* lepidla přímo souvisí s tekutostí lepidla. Jedná se o schopnost lepidla nestékat na šikmých a svislých plochách.

Vydatnost je další důležitá vlastnost lepidel. Udává spotřebu lepidla na určitou plochu.

Sušina – jde o velice důležitý údaj u roztočových a disperzních lepidel. Po odpaření nosného média zůstane ve spoji množství adhezivního základu, které je udáno sušinou.

2.2.2. KLASIFIKACE LEPIDEL [1, 2]

Způsobů klasifikace lepidel existuje velmi mnoho. Žádný z nich však sám o sobě nemůže být dostačující. Většina způsobů se omezuje na jedno, nebo dvě kritéria, takže nové typy lepidel, které přicházejí na trh se těžko zařazují.

Nejznámější klasifikační systémy lepidel vycházejí z následujících hledisek:

- podle chemického složení,
- podle druhu vazby,
- podle nosného média,
- podle formy a fyzikálního stavu,
- podle tekutosti,
- podle způsobu vytvrzování, tvorby vazby,
- podle lepivosti, odolnosti, reaktivnosti,
- podle použití atd.

Klasifikační systémy musí být všeobecné, aby se do nich mohly zařadit i nově vyvinuté druhy. Nejpresnější a nejkomplexnější systém vychází z principů moderní informatiky a využitím výpočetní techniky a moderního softwaru. Tento systém obsahuje nejen charakteristiky lepidel (jejich kódové znaky atd.), ale i kódy pro technologii lepení, konstrukci spoje, vlastnosti spoje, zkoušení, vliv podmínek využití, normy, označování výrobců, popřípadě ekonomické údaje, se zaměřením na zpětné rešeržování.

Výše popsané způsoby dělení naznačují následující tabulky:

Tab.: 2.2 Klasifikace lepidel podle chemického základu

Druh chemického základu	Přírodní	Syntetické		
		Plastomerní	Duromerní	Elastomerní
Příklady	Organické krevní albumin z kůže a kostí; škrob, dextrin, šelak; asfalt, živice, kaučuk Anorganické vodní sklo, sádra, cement	PVAc, PVA, akryláty, PV Butyral, deriváty nitrocelulózy, polystyrény, poly- sulfóny, kyanoakryláty aj.	fenolové, močovinnové, rezorcínové, epoxido- vé, melaminové, alkydové, polyestero- vé, izokyanátové, polyimidové aj.	butadién- styrenové, chloroprenové, akrylonitrilové, silikonové, regenerátové aj.
Nejužívanější forma	kapaliny, pasty, prášky	kapaliny, fólie, granuláty	kapaliny, prášky, fólie	kapaliny, pasty
Charakteristika vazeb	široké rozmezí pevnosti, častá kombinace adheze s mech. zakotvením, poměrně dobrá odolnost proti teple a chemikáliím	dobrá pevnost, náchylnost na creep, nízká odolnost proti chemikáliím, dobrá odolnost proti vodě, teplota nad 85 °C jen zřídka	vysoká pevnost, výborná odolnost proti vodě i chemikáliím (až na výjimky), dobrá tepelná odolnost, často křehký spoj, náročné vytvrzování	pružné spoje, výborná odolnost proti vodě, menší proti rozpouštědlům, široký tepelný interval použití, široký interval pevností, univerzálnost
Nejčastější aplikace	v domácnosti, v dopravě, viněty, spotřební průmysl, papírnictví, administrativa	hračky, modely, obalová technika, přístrojová technika, automobilový průmysl, strojírenství	náročné strojírenské a chemické konstrukce, letecký průmysl, elektrotechnika, doprava, nábytkářství	obuvnictví, strojírenství, stavebnictví, automobily, domácí práce a opravy
Nejčastější substráty	dřevo, papír, korek, kůže, stavebniny, keramika, kámen	plasty, kovy, dřevo, sklo a jejich kombinace	kovy, dřevo, sklo, plasty, kůže a jejich kombinace	kaučuky, kovy, plasty, kůže, textil

Zdroj: KOVAČIČ, L.: *Lepení kovů a plastů*. SNTL. Praha 1980.

Tab.: 2.3 Klasifikace lepidel podle způsobu tvorby vazby

Všeobecný způsob tvorby vazby	Bližší podmínky	Čas	Použitá forma	Poznámky
Teplem	Teploty nad 40 °C. Nejčastější 80 – 170 °C. Zřídka do 230 °C.	Různý od několika min do asi 48 h	Všechny formy: tekutá, fólie i prášky	Nejčastěji jde o duromerní typy, ale vytvrzováním za tepla je možné zlepšit pevnost i jiných typů
Tlakem	a) lepidla citlivé na tlak do 0,5 MPa b) ostatní typy 0,2 0 3,5 MPa Nejčastější 0,2 - 1 MPa	a) několik sekund b) hodiny až dny	Všechny formy	Určitý tlak je potřebný v každém případě pro všechny typy lepidel
Katalyzátory	Rozmanité chemické činidla, často s obsahem více složek, případně i rozpouštědel	<u>lontové</u> - několik sekund až minut <u>Radikálové</u> - podle teploty minuty až hodiny	Zpravidla dvoj-komponentové pasty, kapaliny nebo prášky	Některé katalyzátory pracují jen při vyšší teplotě, jiné se modifikují, aby účinkovali pomaleji
Vulkanizace	Různé vulkanizační činidla, případně kombinované s katalyzátory zpravidla při teplotě a tlaku	Podle podmínek minuty až hodiny	Dvoukomponentní, často směsi různé konzistence	Jsou k dispozici dopředu připravené směsi, které už vyžadují jen vulkanizační podmínky (vyšší teplota, tlak)
Reaktivace (oživování povrchu)	Dělá se: - vyšší teplotou - rozpouštědlem - nanesením nové vrstvy lepidla	Stejná jako při lepidle bez reaktivace	Rozpouštědlové nebo tavitelné typy	Tepelné typy jsou výhodnější – vyšší pevnost, nevyžadují se pórovité substráty

Zdroj: KOVAČÍČ, L.: *Lepenie kovov a plastov*. SNTL. Praha 1980.

Tab.: 2.4 Rozdělení lepidel podle nosného média

Druh	Disperze v rozpouštědle	Vodní emulze	100 % reaktivní (bezrozpouštědlové)
Forma	Tekutiny, pasty	Tekutiny – různá sušina	Pasty, prášky, fólie, tekutiny s různou viskozitou
Adhezivní složky	Elastomery, duromery, některé plastomery	Kaučukové i plastomerní latexy	Epoxidy, polyestery, modifikované fenoplasty, kyanoakryláty
Způsob utváření vazby	Vždy tlak, někdy i zvýšená teplota	Tlak, někdy vysokofrekvenční vyhřívání	Potřebný tlak, vhodná teplota, katalyzátory, resp. působení okolí či substrátu
Výhody	Lehké nanášení všemi způsoby; možnost reaktivace po vysušení filmu; široký výběr formulací; vhodné pro pružné spoje	Velmi laciné - odstraňují nebezpečí výbuchu, neohrožují pracovní prostředí, možnost ředit vodou	Odpadají opatření a čas na odpaření rozpouštědel, zpravidla nevýbušné, zvláště výborná tepelná odolnost, v některých případech možnost nanášení z roztoku a reaktivace; velmi rychlé vytvrzení
Omezení	Přesné dodržování otevřeného času, zejména při nepérovitých substrátech, substráty nesmí být rozpustné v nosném médiu	Vyžadují alespoň jeden pórovitý substrát. Některé typy vyžadují vysoký tlak, mráz podstatně zhoršuje vlastnosti	Namáhání v odlupování a dynamické zatížení je často nevhodné. Zpravidla nízká tekutost. Složitější příprava lep. směsi (dvoj- a vícekomponentní); někdy krátká skladovatelnost

Zdroj: KOVÁČIČ, L.: *Lepenie kovov a plastov*. SNTL. Praha 1980.

Tab.: 2.5 Klasifikace lepidel podle formy

Druh	Výhody	Poznámky
Kapaliny	Lehké nanášení, jednoduchá kontrola a úprava viskozity, široký výběr nanášecích prostředků	Jde o roztoky nebo disperze v rozpouštědlech Nejběžnější forma
Pasty	Dlouhá skladovatelnost, menší zhoršování prostředí, kratší čas sušení	Často reaktivní typy, možnost plnění, utváření tixotropních směsí
Prášky	Neomezená skladovatelnost. Nanášení přímo nebo z roztoku, možnost reaktivace teplem.	Vyžadují dokonalé smíšení, vždy vyžadují vyšší teploty vytvrzování
Tmely	Jednoduché nanášení, spojují prakticky bez tlaku, nízké nároky na pevnost, nestékají	Prakticky nejde o adhezivní spojování, adhezivní vlastnosti se vyžadují kvůli těsnění
Filmy, pásy	Rychlá použitelnost, nevyskytují se přetoky, čistá práce a prostředí, rovnoměrná tloušťka, použití tlaku jen zřídka	Omezené na rovné a paralelní plochy, namísto nanášecích zařízení jsou potřeba přípravky na přesné řezání
Jiné: granuláty, tyčky, kostky	Vhodné pro mechanizované dávkování	Zpravidla jde o tavná lepidla, které se buď automaticky dávkuje do spoje, nebo nanáší pomocí rotačních tavných přípravků

Zdroj: KOVAČÍČ, L.: *Lepenie kovov a plastov*. SNTL. Praha 1980.

2.3. LEPIDLA A PLECHY POUŽÍVANÉ VE STAVBĚ KAROSERIE

2.3.1. LEPIDLA [1, 2, 12, 13]

Epoxidová lepidla

Je to skupina lepidel, která je v mnoha směrech pokládána za velmi perspektivní. V současnosti jsou modifikovaná epoxidová lepidla v popředí konstrukčních lepidel pro spoje kovů, provozovaných do teplot kolem 150 °C

Dnes se vyrábí velké množství různých druhů epoxidových pryskyřic. Každý druh může mít podle délky řetězce molekul řadu typů, lišících se viskozitou, od nízkoviskózních kapalin až po tuhé látky s vysokou teplotou tání. Tak vzniká nepřehledné množství epoxidových lepidel. Mohou být dodávána jako dvousložková i jednosložková. Pro vytvrzování při laboratorní teplotě jsou voleny většinou dvousložkové systémy. Epoxidová lepidla určená pro práci při vyšších teplotách zpravidla vyžadují také vyšší vytvrzovací teploty a jsou křehčí než lepidla určená pro nižší teploty.

Podle účelu použití jsou to buď práškové hmoty, někdy slisované do tvaru tyčinek, jindy jsou to viskózní kapaliny, fólie bez nosiče i s nosičem nebo pasty. Podobně jsou i tvrdidla kapalná, práškovitá nebo prstovitá. Protože jsou epoxidové pryskyřice snášlivé s řadou jiných pryskyřic, dá se z nich připravit mnoho modifikací, z nichž dává většina vyhovující pevnosti spojů ve značném rozmezí tloušťek vrstvy lepidla.

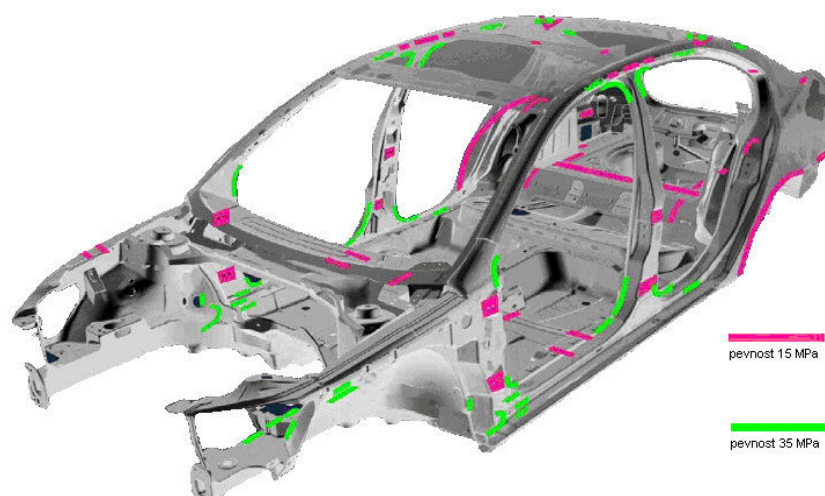
Malá pevnost epoxidových lepidel v odlupování se dá vhodnou modifikací zvýšit, stejně tak tepelná odolnost a odolnost proti vlivu prostředí. Tím se získávají vynikající konstrukční lepidla, používaná prakticky ve všech průmyslových odvětvích. Jejich velkou výhodou je, že k vytvrzení často nepotřebují tlak, takže většinou doporučovaný tlak 0,3 MPa slouží jen ke slícování lepených ploch a k jejich zajištění proti posunutí. Při vytvrzování se neuvolňují žádné zplodiny. Lepidla mají malou objemovou smrštitost, obvykle od 0,05 do 5%. Protože obsahují řadu polárních skupin, jako epoxidové, nitridové, hydroxylové, aminové a podobně, mají dobrou adhezi k řadě adherendů. Vysoká kohezní pevnost samotného lepidla často převyšuje pevnost lepeného adherendu. Epoxid-fenolická lepidla jsou obvykle používána pro spojování dílů namáhaných při vyšších teplotách. Spoje se

mohou zahřívat několik set hodin při teplotě 260°C, krátkodobě snesou i teplotu 540°C. Jsou poměrně křehká.

Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou velmi houževnatá, mají dobré pevnosti v odlupování, spoje snášejí trvale teplotu asi 100°C. pevnost v odlupování má vysoké hodnoty i za mrazu. Podle některých pramenů se tyto lepidla dají používat až do teplot -220°C. vytvrzují se obvykle za teploty 170°C po dobu šedesáti minut při tlaku 0,2 MPa. Pro tato lepidla je typická velmi nízká viskozita a nízké povrchové napětí na začátku vytvrzování, které jsou příčinou, že se při spojování dobře přiléhajících rovnoběžných ploch v podstatě ani nemusí při vytvrzování používat tlak. Lepidla také dobře vyplňují spáry v důsledku dobré vzlínavosti. Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou náchylná k navlhavosti, pokud se do lepidla dostane vlhkost před vytvrzením, pak se během vytvrzování uvolní pára a vznikají póry. Odolnost vytvrzených spojů proti vlivu vlhkosti lze zvýšit použitím vhodného primeru.

Použití epoxidových lepidel:

Epoxidová lepidla se uplatňují v letectví jako vysoce kvalitní konstrukční lepidla, dobře spojují vyztužené a lehčené plasty, také pryže a dřeva. Podstatného uplatnění dosahují epoxidová lepidla v elektronice, stavebnictví a ve strojním průmyslu. Významným způsobem se epoxidová lepidla uplatňují při lepení částí karoserií. Na *obr. 2.16* jsou znázorněna a barevně odlišena dle pevnosti místa použití epoxidových lepidel na karoserii automobilu.



Obr. 2.16 Příklad umístění epoxidových lepidel na karoserii vozu

Epoxid – polyuretanová lepidla

Směsná lepidla byla vyvinuta pro zlepšení konečných vlastností lepidel kombinujících v sobě přednosti obou složek. V podstatě to znamená, že pokud chceme zlepšit např. pružnost a elasticitu lepidla, pak přidáme vhodnou složku, která je právě typická svou flexibilitou a poddajností. Kombinace epoxid-polyuretan zajišťuje lepidlu pevnost a houževnatost, díky epoxidu a také flexibilitu a poddajnost díky polyuretanu. Lepidla se vytvrzují teplem a existují jako jednosložková a také jako vícesložková.

Kaučuková lepidla

Základní rozdělení kaučukových lepidel lze provést na:

- nevulkanizační
- vulkanizační
- samovulkanizační
- vulkanizační za zvýšené teploty

Nevulkanizační kaučuková lepidla mají ve srovnání s vulkanizačními podstatně menší pevnost spojů. Vulkanizační kaučuková lepidla obsahují vulkanizační přísady a vulkanizují obvykle v rozmezí teplot 140 až 150°C.

U samovulkanizačních kaučukových lepidel jsou kromě vulkanizačních přísad ještě přidány aktivátory a urychlovače, umožňují vulkanizaci i za teploty 25 až 30°C.

Hlavní požadavky na dobré rozpouštědlo pro výrobu kaučukového lepidla jsou zejména:

- rozpouštědlo nesmí mít nepříznivý vliv na kvalitu lepidla
- musí být minimálně toxické
- musí zaručovat co nejmenší nebezpečí vzniku ohně
- nemělo by pokud možno zapáchat
- mělo by mít vhodnou rychlost rozpouštění kaučuku a " rychlost odpařování

K výrobě kaučukových lepidel se používají běžné kaučuky a kaučukové směsi, které se těsně před výrobou lepidla odbourávají válcováním, aby se zvýšila jejich lepivost a rozpustnost. Při rozpouštění v mísících strojích se

nejprve přidává jen asi jedna třetina objemu rozpouštědla, zbytek se přidává postupně. Pro urychlení rozpouštění se někdy nechává kaučuk nejprve bobtnat 12 až 14 hodin v rozpouštědle.

Kaučukových lepidel může být více druhů, záleží na způsobu výroby, množství výchozích látek a příměsí, z nichž je lepidlo vyrobené.

Po objevu vulkanizace přírodního kaučuku a jeho regenerace bylo zjištěno, že lepidla připravená rozpouštěním regenerátu mají vlastnosti, které nelze získat rozpouštěním přírodního kaučuku. Přírodní kaučuk je cis-polyisopren. K vulkanizaci kaučuku za laboratorní teploty se dá použít například chlorid sirný, který vytváří mezi jednotlivými řetězci sirné můstky.

Lepidla z přírodního kaučuku nebo z regenerátu mohou být roztoky v rozpouštědlech, vodné disperze nebo polotuhé tmely a pasty.

Z přírodního kaučuku i z regenerátu se dělají lepicí pásy, jejichž nosičem je textil nebo plast. Lepidlo se nanáší buď z roztoku potíráním, nebo nanášením tuhé směsi za zvýšené teploty. Z přírodního kaučuku i z regenerátu se také dělají tmely v podobě vysoce viskózních kapalin nebo past, vhodných pro vytlačování. Poměr vody nebo rozpouštědla bývá 1 : 3 až 1 : 4. Tato lepidla vysychají odpařením rozpouštědel nebo vody, také vulkanizují po zahřátí či po přidání katalyzátoru. Lepidla z přírodního kaučuku i z regenerátu mají dobrou lepivost. Lepidla z regenerátu jsou odolnější proti povětrnosti a jsou méně náchylná ke creepu za tepla. Bývá jim často dána přednost pro jejich nízkou cenu, snadnost nanášení, dlouhou dobu zpracovatelnosti a pro rychlé dosažení pevnosti. Mají i vysokou stabilitu v roztoku a ze všech lepidel na bázi kaučuku se dají nejlépe nanášet stříkáním. Použití těchto lepidel se uplatňuje zejména k lepení papíru, kovů, plastů, kůže, pryže, dřeva a podobně. Zvláštní význam mají pro přípravu lepicích pásek, citlivých na tlak. Další použití je ve stavebnictví, značná část se používá i při výrobě automobilů.

2.3.2. LEPENÉ SPOJE VE STAVBĚ AUTOMOBILŮ [12, 13, 19]

Za jednu z největších oblastí využití techniky lepení je možno do budoucna považovat zpracování plechů. Hospodářsky významné je

uplatnění technologie lepení v automobilovém průmyslu. Protože spotřeba pohonných hmot je z velké části závislá na hmotnosti vozu, získává postupně na významu požadavek na lehkou konstrukci. Zároveň musí být zahrnutý stoupající nároky na bezpečnost vozu, pohodlí jízdy, jeho životnost a hospodárny způsob výroby.

Lepené spoje ve stavbě automobilů lze rozdělit do několika skupin:

- **lepení frikčních materiálů**

zvýšení účinnosti v důsledku zvětšení třecí plochy,
zvýšení účinnosti v důsledku lepšího odvodu tepla,
zvýšení životnosti obložení.

- **konstrukční lepené spoje karoserie**

- **tmelení karoserie**

je možné rozdělit na tmelení vnitřních bodově svařovaných spojů, a na tmelení vnějších spojů, které musí být pro lakování hladké a zároveň snášet vlivy povětrnosti.

- **lepení lepidly, která obsahují rozpouštědla**

nutno hlídat bezpečnost a hygienu práce, nebezpečí uvolňování rozpouštědel do okolí

- **lepení okenních skel**

určité nepřesnosti při výrobě skel a karoserie se eliminují housenkou lepidla

- **lepení tavnými lepidly**

- **lepení samolepícími páskami.**

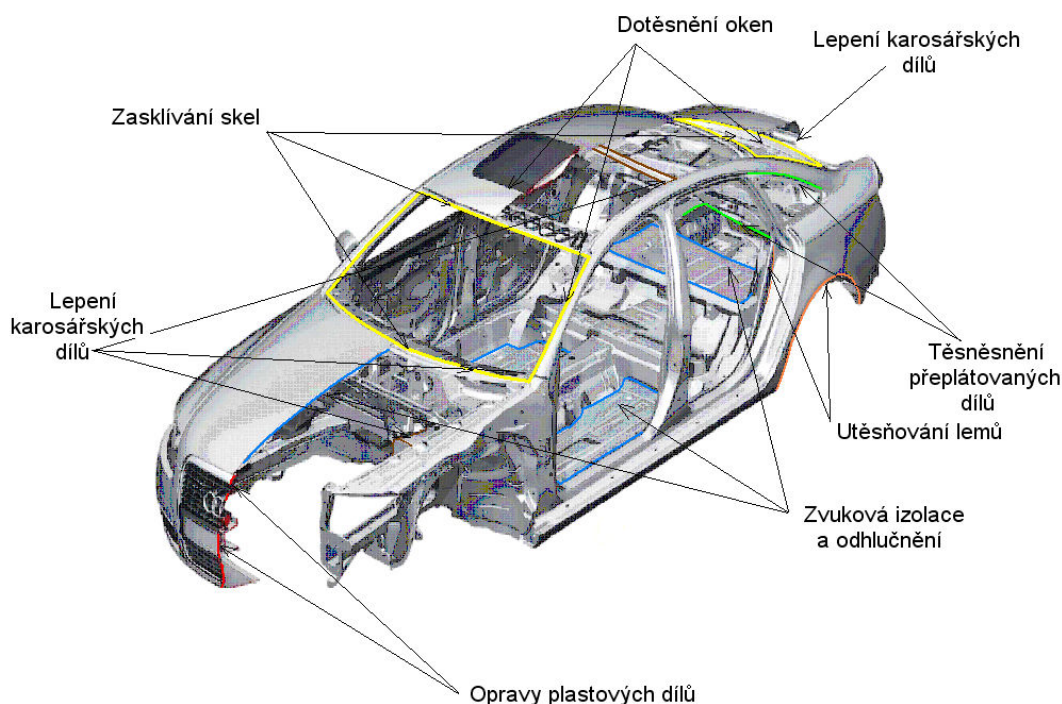
Lepení ve stavbě karoserií

Konstrukční lepené spoje se uplatňují ve stavbě karoserie vozu, kde vzniká snaha nasadit techniku lepení pro vysoce náročné montážní díly. Lepená, tudíž i lehká konstrukce způsobí mnohé výhody:

- úspora hmotnosti snížením tloušťky plechu v důsledku využití plošších a tím zlepšených materiálů,

- ochrana proti korozi a tlumení spojovací vrstvou,
- nedojde k poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů,
- plošné uchycení plechů zajišťuje karoserii větší pevnost a tuhost,
- povrch spojovaných míst je hladký, odpadájí nákladné operace začišťování,
- spoje jsou těsné, není třeba utěšňovat dodatečně, platí i pro palivové nádrže,
- vrstva lepidla je elektroizolant, při styku různých kovů nemůže dojít k elektrolytické korozi,
- mezi spojovanými plechy nemůže dojít k žádnému klepání a skřípání, což podstatně snižuje hlučnost karoserie,
- u větších konstrukcí lze nalepením zabránit kmitání.

Nejčastější příklady použití lepení ve stavbě karoserie znázorňuje *obrázek 2.17*



Obr.: 2.17 Příklady použití lepených spojů ve stavbě karoserie

Technologie lepení nachází při stavbě karoserie stále širší uplatnění vzhledem k požadavkům na snižování hmotnosti. Ta vede ke značným

ekonomickým zvýhodněním (např. úspora pohonných hmot). Nižší energetická náročnost lepení, v porovnání se svařováním je též faktorem pro zvyšování podílu lepených spojů ve stavbě karoserií automobilů.

2.3.3. PLECHY VE STAVBĚ KAROSERIE [12, 18]

V zájmu zkvalitnění antikorozní ochrany se v karosářství stále více uplatňují odolnější materiály. Nejpoužívanějším materiálem při stavbě karoserie jsou ocelové povrchově upravené plechy, hlavně žárově a elektrolyticky pozinkované. Zinek je vhodný především svou relativně nízkou cenou, výbornou korozní ochranou, svými elektrochemickými vlastnostmi poskytuje ocelovému podkladu katodickou ochranu. Dále se také používají plechy ze slitiny hliníku.

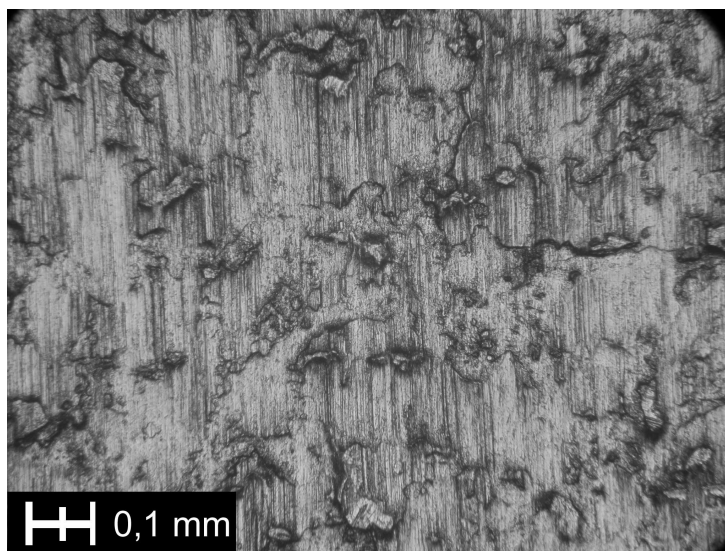
Vliv na kvalitu lepených spojů má druh použitého povlaku, drsnost povrchu a morfologie. Další vliv na lepený spoj má také tloušťka substrátu.

Dle způsobu vytváření této ochranné vrstvy rozeznáváme jednotlivé typy ocelových plechů:

- ocelový hlubokotažný plech bez povrchové vrstvy – označen např. CRS)
- ocelový hlubokotažný plech s ochrannou vrstvou zinku, nanesenou na povrch plechu elektrolytickým (galvanickým) způsobem – označen např. EG
- ocelový hlubokotažný plech galvanicky pozinkovaný s fosfátovým povlakem – označen např. EG+PH
- ocelový plech galvanicky pozinkovaný s mikrofosfátovým povlakem – označen např. S250
- ocelový hlubokotažný plech s ochrannou povrchovou vrstvou zinku nanesenou na povrch plechu žárově (ponořením plechu do roztavené zinkové lázně) – označen např. HDG
- ocelový hlubokotažný plech žárově pozinkovaný s mikrofosfátovým povlakem – označen např. NIT

Ocelový hlubokotažný plech bez povrchové úpravy

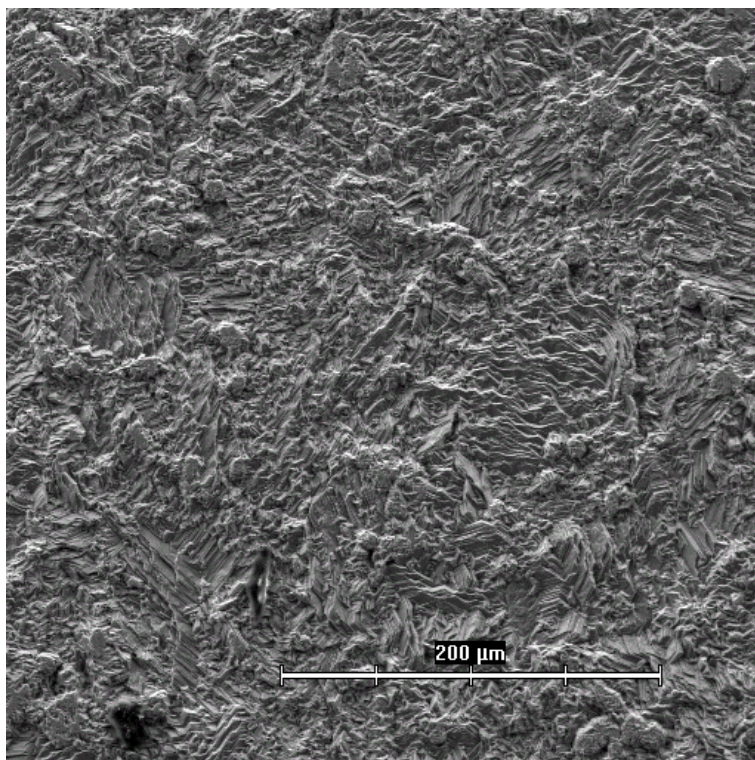
Označuje se CRS. Je to standardní nízkouhlíkový plech pro stavbu karoserie. Používá se v malé míře. Na *obrázku 2.18* je 100krát zvětšená fotografie povrchu.



Obr.: 2.18 Substrát CRS při stonásobném zvětšení

Ocelový hlubokotažný plech galvanicky pozinkovaný

Označuje se EG. Při elektrolytickém způsobu pozinkování mívá dosažená vrstva zinkového povlaku běžně tloušťku $7 \div 10 \mu\text{m}$. Na rozdíl od žárového zinkování nedochází při galvanickém procesu ke změnám mechanických vlastností. Na *obrázku 2.19* je 100krát zvětšená fotografie povrchu.

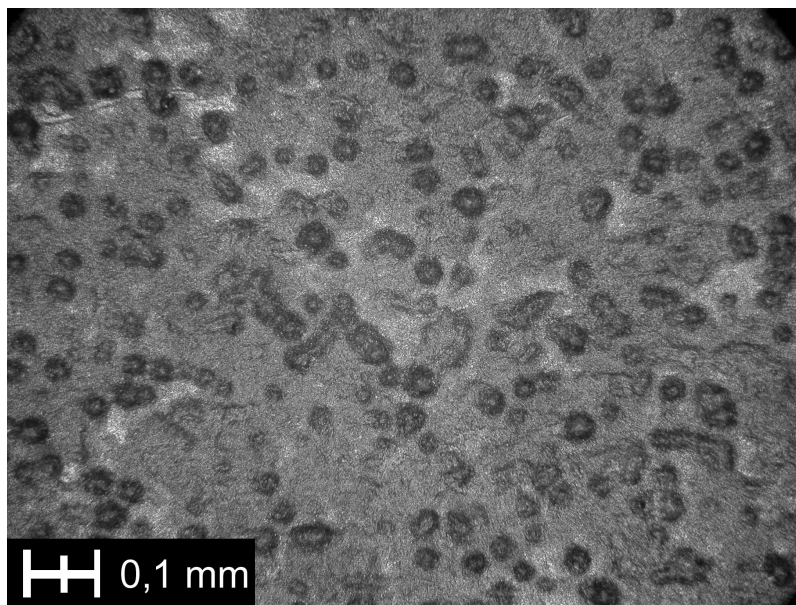


Obr.: 2.19 Substrát EG

Ocelový hlubokotažný plech galvanicky pozinkovaný s fosfátovým povlakem

Označuje se EG+PH. Plechy určené k hlubokému tažení jsou po nanesení zinku následně fosfátovány (vrstvou cca 200 mg/m^2) pro eliminaci zadírání a zlepšení mazání. Fosfatizačním procesem se povrch materiálu nepokryje krystalickou vrstvou fosforečnanů dokonale, mezi jednotlivými krystaly jsou póry a mezery. Fosfátovaný povrch je potom schopný zhruba 13krát lépe vsakovat mazací film než materiál holý. Ve výrobní praxi se fosfátování využívá také před nanášením barev na karoserii. Z ekonomických důvodů se zavedla technologie tzv. mikrofosfátování. Jde o vytvoření slabšího fosfátového povrchu (cca 20 mg/m^2), který se tažením „setře“, což nevadí, protože před nanášením barev na karoserii se znovu plechy fosfátují. Svou úlohu – usnadnění tažení splní a pořízení slabší vrstvy je méně nákladné. Tento materiál je např. označen jako S250.

Na *obrázku 2.20* je 100krát zvětšená fotografie povrchu substrátu EG+PH.

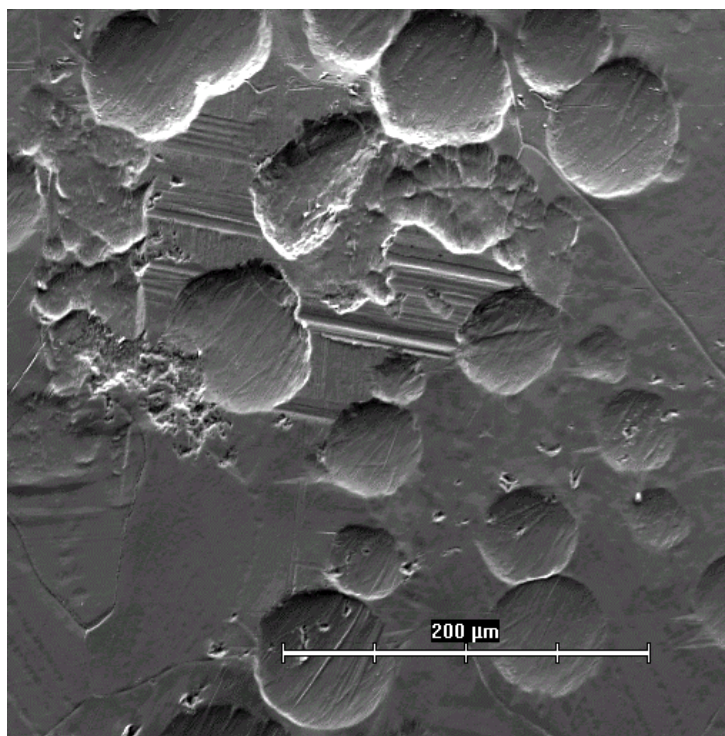


Obr.: 2.20 Substrát EG+PH při stonásobném zvětšení

Ocelový hlubokotažný plech žárově pozinkovaný

Označuje se HDG. Proces žárového pozinkování spočívá v namáčení ocelových plechů do tekutého zinku o teplotě cca 450°C, kdy dochází mezi železem a zinkem k metalické reakci. Vzniká tak metalický zinkový povlak o tloušťkách 7 ÷ 200 µm.

Na *obrázku 2.21* je 100krát zvětšená fotografie povrchu.



Obr.: 2.21 Substrát HDG



Ocelový hlubokotažný plech žárově pozinkovaný s mikrofosfátovým povlakem

Jde v podstatě o novinku v oblasti materiálů určených pro hluboké tažení. Princip a účel mikrofosfátového povrchu je stejný jako u materiálu S250 a to pro eliminaci zadírání a zlepšení mazání. Tento progresivní materiál nachází stále častější uplatnění v automobilovém průmyslu, a proto byl zvolen i pro náš experiment. Označen byl jako HDG+NIT.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE

3.1. ZÁMĚR EXPERIMENTU

Lepené spoje používané v automobilovém průmyslu, ale nejen v něm jsou v praxi podrobeny zkouškám odolnosti často za velmi různých teplot. Výrobci lepidel často uvádějí velmi rozsáhlou škálu teplot, při kterých garantují stejné vlastnosti lepeného spoje.

Cílem experimentu bylo zhodnotit vliv okolní teploty v rozmezí -10°C až $+80^{\circ}\text{C}$ a typu maziva na mechanické vlastnosti lepeného spoje, zejména na pevnost ve smyku, následovaný popisem a vyhodnocením jednotlivých typů porušení lepených spojů. Minimální teplota -10°C byla zvolena, jako nejnižší možná zkušební teplota dosažitelná za běžných podmínek, bez speciálního tepelně izolačního chladicího zařízení namontovaného na trhacím stroji. Bylo by optimální zkoušet lepené spoje při teplotách až -35°C , ale toho nelze docílit bez tohoto chladicího zařízení.

Zkoušky pevnosti lepeného spoje byly provedeny dle normy PV 12.05 a byla vyhodnocována pevnost ve smyku τ .

Při návrhu průběhu experimentu byl brán zřetel na specifické požadavky automobilového průmyslu. Ke zkouškám byl zvolen substrát, používaný ve stavbě karoserií, ocelový plech žárově pozinkovaný s mikrofosfátovým povlakem (HDG+NIT). Při tvorbě lepeného spoje byla využita standardně používaná lepidla s rozdílnými mechanickými vlastnostmi. Konkrétně to byla tato: Betamate 1496, Togocoll PA 105 A1, SikaPower 490/7 a lepidlo Betaguard RB10BV. Plechy byly rozděleny do dvou skupin a ošetřeny dvěmi mazivy běžně používanými v automobilovém průmyslu. Jedna skupina mazivem Anticorit RP 3802-39S a druhá skupina mazivem AP 167/22.

Vyhodnocení experimentu bylo provedeno ve dvou krocích.

Vyhodnocení z pevnostního hlediska

Byla provedena zkouška pevnosti lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu za čtyř různých teplot okolí (-10°C , $+23^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$, $+80^{\circ}\text{C}$), kdy vypovídacím výsledkem zkoušky byla smyková pevnost v tahu.

Vyhodnocení podle typu porušení

Při tomto vyhodnocování jsem se řídil označením hlavních typů porušení lepeného spoje podle normy ČSN ISO 10365. Cílem bylo zjistit, zda porušení

bylo adhezní (AF), kohezní (CF), speciální kohezní (SCF), nebo kombinované adhezní a kohezní (ACFP).

3.2. CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

3.2.1. MAZIVA [20]

Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je třeba zajistit optimální smáčivost lepidla se substrátem. U karosářských výlisků vyráběných z plechových svitků nebo tabulí, je substrát nakonzervován z hutí konzervačním olejem, který se před vlastním lepením již neodstraňuje. Ten působí negativně na smáčivost lepidla. Všeobecně se dá říci, že maziva snižují smáčivost substrátu lepidlem, což negativně ovlivňuje proces lepení. Jelikož mazivo slouží jako ochrana plechů proti korozi a také zlepšuje tribologické podmínky při lisování je nutné zohlednit přítomnost maziva u lepených spojů. Dnešní lepidla musí zajistit dobrou smáčivost lepidel se substrátem i přes vrstvu maziva. Neustálým vývojem nových lepidel a zlepšování jejich vlastností se snižuje citlivost lepidla na přítomné množství maziva v lepeném spoji

Při zjišťování vlivu okolní teploty na pevnost lepených spojů byla použita dvě maziva

- 1) antikorozní mazivo **ANTICORIT PL 3802–39S** typu Prelube tzn. ochranný antikorozní olej i tvářecí mazivo. Charakteristika maziva je uvedena v příloze.
- 2) hlubokotažné mazivo **AP 167/22** pro náročnější hlubokotažné aplikace

3.2.2. LEPIDLA [12, 21, 22]

Pevnost lepeného spoje je závislá na tloušťce vrstvy lepidla. Pevnost spoje je maximální, je-li tloušťka vrstvy optimální. Optimální tloušťka je závislá na vlastnostech substrátu i lepidla. Pro ocelové plechy se optimální tloušťka vrstvy lepidla pohybuje mezi hodnotami 0,05 až 0,2 mm. Zaručené tloušťky se dosáhne vložením distančních drátků s požadovaným průměrem a vzorky jsou následně přitlačeny k sobě. V rámci našeho experimentu byla

zvolena tloušťka spoje 0,2 mm, která je nejběžnější u lemových spojů ve stavbě karoserie.

Další vliv na pevnost výsledného spojení má i druh lepidla a technologie lepení. Při lepení jednotlivých částí karosérie se jednotlivé díly neodmašťují, je nutné používat lepidla, která jsou vůči mazivům málo citlivá a jsou schopna zajistit dostatečnou adhezi a pevnost spoje. Výztuhová lepidla se vytvrzují v průběhu vytvrzování laku karoserie. U lemových lepidel dochází k částečnému vytvrzení pomocí indukčního ohřevu v průběhu montáže a dokončení vytvrzovacího procesu se provede při vytvrzování laku karoserie v peci. Při přípravě vzorků bylo použito režimu, jenž simuloval podmínky při vytvrzování laku karoserie.

K vytvoření lepeného spoje u vzorků pro experiment byla použita lepidla s širokou škálou pevností a vlastností. Konkrétně byla použita tato lepidla:

- **Betamate 1496V**
- **Togocoll PA 105 A1,**
- **SikaPower 490/7**
- **Betaguard RB10BV**

Betamate 1496

Je jednosložkové, teplem vytvrditelné epoxidové lepidlo. Vyrábí se ve formě pasty. Vykazuje výbornou adhezivní schopnost k plechům používaným v automobilovém průmyslu. Je odolné proti degradaci a korozi substrátu.

Z materiálového listu jsou vybrány hodnoty seřazené v *tabulce 3.1*.

Tab.: 3.1 Technické údaje k lepidlu BETAMATE 1496

Vlastnost	jednotka	Hodnota
Barva	---	modrá
Konzistence	---	pastovitá
Hustota	g/cm ³	1,18 ± 0,03

Togocoll PA 105 A1

Je lepidlo na kov na bázi směsí epoxidu a PVC. Pro dosažení maximální pevnosti se vytvrzuje při teplotách 170 až 190 °C.

Z materiálového listu jsou vybrány hodnoty seřazené v *tabulce 3.2*.

Tab.: 3.2 Technické údaje k lepidlu Togocoll PA 105 A1

Vlastnost	jednotka	Hodnota
Barva	---	žlutá
Konzistence	---	pastovitá
Hustota	g/cm ³	cca 1,5
Viskozita (20 °C)	Pa · s	610

SikaPower 490/7

Je lepidlo na kov na bázi směsí epoxidu a PUR. Pro dosažení maximální pevnosti se vytvrzuje 30 min. při teplotách 160 až 180 °C.

Z materiálového listu jsou vybrány hodnoty seřazené v *tabulce 3.3*.

Tab.: 3.3 Technické údaje k lepidlu SikaPower 490/7

Vlastnost	jednotka	Hodnota
Barva	---	černá
Konzistence	---	pastovitá
Hustota	g · cm ⁻³	cca 1,4
Aplikační teplota	°C	55/60
Viskozita (50 °C)	Pa · s	400

Betaguard RB10BV

Je lepidlo na kov na bázi syntetického kaučuku. Pro dosažení maximální pevnosti se vytvrzuje při teplotách 160 až 180 °C.

Z materiálového listu jsou vybrány hodnoty seřazené v *tabulce 3.4*.

Tab.: 3.4 Technické údaje k lepidlu Betaguard RB10BV

Vlastnost	jednotka	Hodnota
Barva	---	černá
Konzistence	---	pastovitá
Hustota	g · cm ⁻³	cca 1,4
Viskozita (50 °C)	Pa · s	400

3.2.3. SUBSTRÁT

Ke zkouškám byl jako substrát zvolen materiál, používaný ve stavbě karoserií, hlubokotažný ocelový plech žárově pozinkovaný s mikrofosfátovým povlakem (HDG+NIT). Fosfátováním povrchu se eliminuje zadírání a zlepšuje mazání. Fosfátovaný povrch je potom schopný lépe vsakovat mazací film.

3.3. PŘÍPRAVA VZORKŮ

Příprava vzorků byla prováděna dle metodiky navržené ve spolupráci se Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav. Tato metodika zohledňuje podmínky při vytváření lepeného spoje při lepení částí karoserie automobilu v praxi. Zejména zohledňuje nanesenou vrstvu maziva na substrátu, prodlevy mezi jednotlivými operacemi vytváření lepeného spoje a podmínky při vytvrzování lepidel během nanášení a sušení základního laku na karoserii.

Nastříhání plechů na vzorky:

Vzorky byly nastříhány na tabulových nůžkách z plechové tabule na požadované rozměry vzorků. Pro zkoušku pevnosti ve smyku PV 12.05 byly vzorky nastříhány na délku: 150 ± 1 mm a šířku: $20 \pm 0,2$ mm. Po nastříhání vzorků byly odstraněny ostřiny z okraje plechů.

Označení vzorků:

Vzorky byly označeny číslicemi a písmeny označujícími typ maziva, typ použitého lepidla a teploty zkoušení.

Dále byly na vzorcích pro smykovou zkoušku zhotoveny rysky ve vzdálenosti 10 mm od okraje vzorku pro jednodušší slepení a dodržení desetimilimetrové vzdálenosti.

Očištění a odmaštění plechů:

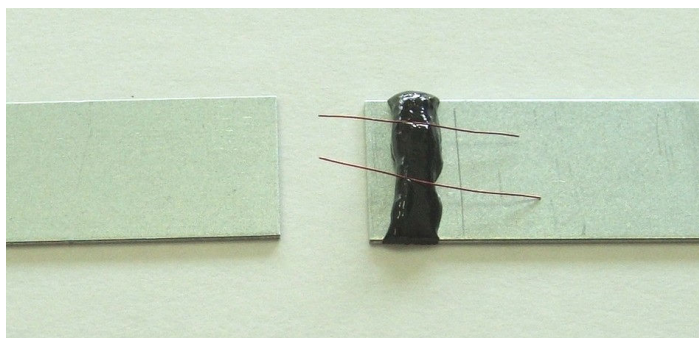
Nejprve byly vzorky očištěny od nečistot bavlněnou tkaninou a následně nadvakrát odmaštěny pomocí benzínu. Po odmaštění následovalo srovnání vzorků do skupin dle jednotlivých podmínek zkoušek.

Nanesení požadované vrstvy maziva:

K nanášení maziva byl použit bavlněný hadřík. Pro experimentální měření byly maziva *ANTICORIT PL 3802–39 S* a *AP 167/22*, nanesena v množství 3 g/m². Množství naneseného olejového filmu bylo průběžně kontrolováno na analytických vahách vážením. Následně byly vzorky ponechány ve vodorovné poloze a jednu hodinu po aplikaci maziva se kondicionovaly, tím byl zajištěn rovnoměrný film maziva po celé ploše.

Proces lepení:

Na vzorky bylo naneseno lepidlo ve tvaru tzv. „housenky“ a následně vloženy distanční drátky Ø 0,2 mm, které zajistily konstantní tloušťku lepidla při vzájemném sevření lepených substrátů (obr.3.1). Přiložením obou kusů k sobě a zafixováním svorkami vznikl vzorek určený k vytvrzení.



Obr. 3.1 „Housenka“ lepidla a distančními drátky

Prodleva:

Při procesu lepení v praxi není lepený spoj vytvrzen ihned po slepení. Prodleva způsobená např. jinými technologickými operacemi trvá přibližně jednu hodinu, proto se vzorky nechaly stejnou dobu před vytvrzením ležet. Za tuto dobu lepidlo částečně absorbovalo nanesené mazivo. Po uplynutí jedné hodiny následovalo vytvrzení.

Vytvrzení:

Vlastní vytvrzení při objektové teplotě 180 °C po dobu 20 minut, doba náběhu na vytvrzovací teplotu byla 15 minut, vše proběhlo v sušárně *Venticell 222* od firmy *BMT* (obr. 3.2). Podmínky vytvrzování napodobňovaly

podmínky při vytvrzování laku karoserie v průmyslové praxi, kdy dochází zároveň k vytvrzení lepených spojů.



Obr. 3.2 Sušárna Venticell 222

Chladnutí slepených vzorků

Po vyjmutí ze sušárny se vzorky nechaly vychladnout při pokojové teplotě, následovalo odejmutí fixačních svorek. Vychladlé vzorky (*obr. 3.3*) se nechaly odležet 24 hodin při pokojové teplotě. Tato doba odpovídá požadované době pro kondicionování vzorků před zkouškou v tahu.



Obr. 3.3 Slepěný vzorek

Trhání vzorků

Trhání vzorků bylo vzhledem k velkému rozpětí teplot okolí provedeno ve dvou etapách na dvou pracovištích, na trhacím zařízení shodného typu TIRAtest 2300 s použitím siloměrné hlavy o rozsahu síly 0 až 10 kN.

Pro kladné teploty $+50^{\circ}\text{C}$ a $+80^{\circ}\text{C}$ bylo použito speciálně upravené zařízení na textilní fakultě TUL. Úprava spočívala v dodatečné montáži temperované komory, která umožňuje provádět trhací zkoušky za zvýšených teplot (až do 250°C) viz obr. 3.4 a 3.5. Vzorky byly před provedením zkoušky po dobu 24 hodin temperovány na zkušební teplotě v sušárně Venticell 222. Poté byly přeneseny do předeřáté komory a následně podrobeny zkoušce.



Obr. 3.4 Trhací zařízení upravené pro zvýšené teploty zkoušek



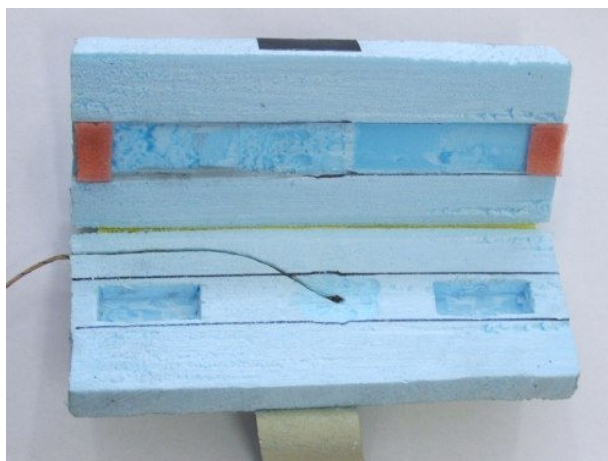
Obr. 3.5 Pohled na elektrickou pec

Trhací zkoušky při teplotách $+23^{\circ}\text{C}$ a -10°C byly provedeny v laboratořích oddělení tváření kovů a plastů katedry strojírenské technologie TUL. Především bylo nutno vyřešit problém spojený s ohřevem vzorků od okolního prostředí při trhání za záporné teploty. Vzorky plechů, ale i trhací čelisti byly nejprve hluboce zamrazeny na teplotu -18°C viz *obr.3.6*. Doba temperování byla opět 24 hodin.



Obr.3.6 Zamražení lepených spojů a trhacích čelistí

Z důvodu co největšího zabránění přestupu tepla do vzorků při vlastním průběhu trhání byl sestrojen a použit přípravek z pěnového polystyrenu viz *obr. 3.7*, do kterého byl trhaný vzorek umístěn při průběhu zkoušky. Zároveň byla do přípravku upevněna sonda termočlánu na měření teploty vzorku během trhání.



Obr. 3.7 Termoizolační přípravek se sondou na měření teploty

Vlastní průběh trhání probíhal při teplotě vzorku -10°C , byla dodržena tolerance $\pm 1^{\circ}\text{C}$. viz obr. 3.8.



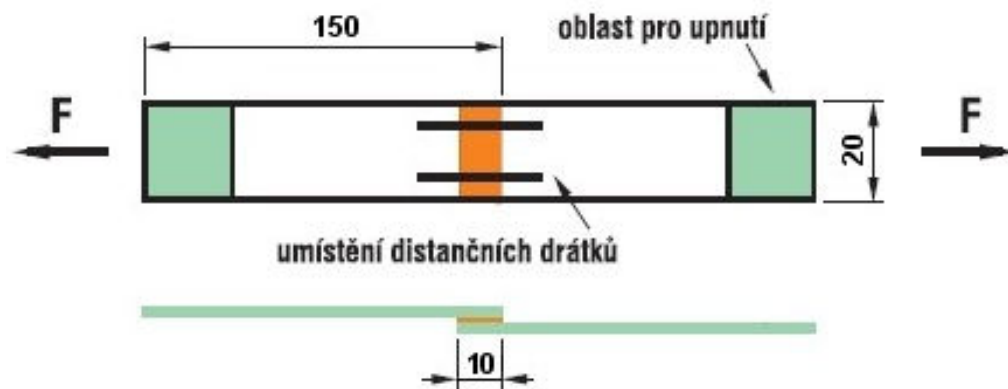
Obr.3.8 Průběh teploty při trhání byl kontrolován termočlánkem

3.4. POPIS NOREM A METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ

3.4.1. PEVNOST VE SMYKU PŘI ZATĚŽOVÁNÍ V TAHU PV 12.05 [8]

Pevností ve smyku se rozumí největší zatížení vztažené na jednotku lepené plochy, při kterém nastane porušení spoje. Hlavní směr namáhajících sil je rovnoběžný s podélnou osou vzorku.

Podstatou zkoušky je namáhání lepeného spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Toto je nejčastěji používaná zkouška k hodnocení pevnosti lepeného spoje. Ve smykové pevnosti podle této zkoušky je současně zahrnuto namáhání ohybovým momentem vzniklým přesazením obou plechů, což odpovídá skutečnému namáhání spoje v provozu. Tvar a rozměry zkušebních těles jsou znázorněny na obrázku 3.9.



Obr. 3.9 Zkušební vzorek pro zjišťování pevnosti lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu

Pevnost ve smyku se udává v MPa . Pevnost ve smyku se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\tau = \frac{F_{\max}}{S} \quad (1)$$

kde

τ	- pevnost ve smyku [MPa]
F_{\max}	- maximální síla [N]
S	- plocha lepeného spoje [mm^2]

Střední hodnota smykové pevnosti \bar{x} je vypočtena podle vztahu (2).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

kde:

\bar{x}	je aritmetický průměr smykové pevnosti,
n	je počet měření ($n = 5$),
x_i	je měřená hodnota každého zkušební vzorku

Ke každému průměru je dopočítána směrodatná odchylka s podle vztahu (3).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

kde: x_i je měřená hodnota každého zkušební vzorku
 \bar{x} je aritmetický průměr
 n je počet měření

3.4.2. OZNAČENÍ HLAVNÍCH TYPŮ PORUŠENÍ LEPENÉHO SPOJE POSLE ČSN ISO 10365 [7]



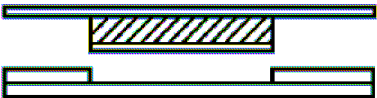
Tato mezinárodní norma uvádí označení hlavních typů porušení lepeného spoje a ilustruje typ porušení pomocí obrázků. Lze ji použít pro všechny mechanické zkoušky lepených spojů, bez ohledu na povahu adherendů a lepidla, tvořících lepený spoj.




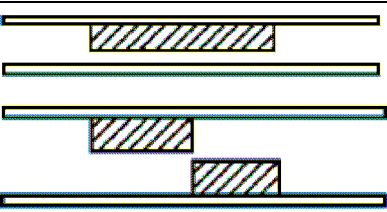

Adhezní porušení – prasknutí lepeného spoje, které se zjevně projeví oddělením na rozhraní lepidlo/adherend.

Kohezní porušení – prasknutí lepeného spoje, při kterém se oddělení zjevně projeví buď v lepidle, nebo adherendu.

Jednotlivé typy porušení popisuje *tabulka 3.5*.

Tab.: 3.5 Druhy porušení lepených spojů

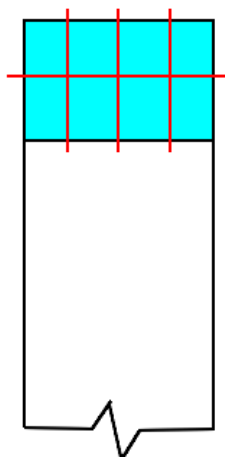
	Typy porušení		Označení
Substrát		Porušení jednoho, nebo více adherendů	SF
		Porušení jednoho adherendu	CSF
		Porušení delimitační	DF

Lepidlo		Kohezní porušení	CF
		} Speciální kohezní porušení	SCF
			
		Adhezní porušení	AF
		Adhezní a kohezní porušení	ACFP

3.4.3. METODIKA VYHODNOCOVÁNÍ DRUHŮ PORUŠENÍ [7]

Při vyhodnocování druhu porušení jsem se řídil výše popsanou normou ČSN ISO 10365. Druh porušení byl stanoven na základě pozorování pouhým okem.

Při porušení lepeného spoje se vzorek rozdělil na dvě části. Při vyhodnocování jsem bral v úvahu obě dvě. Plochu jsem rozdělil rastrem na 8 shodných oblastí. Rastr je naznačen na *obrázku 3.10*. Vyhodnocení druhu porušení proběhlo v každé takto vzniklé oblasti zvlášť. Výsledné hodnoty vznikly průměrem hodnot dílčích.



Obr.: 3.10 Rozdělení porušené plochy rastrem

3.5. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

3.5.1. MECHANICKÉ HODNOTY LEPENÝCH SPOJŮ

Výsledky pevnostních zkoušek lepených spojů ve smyku při všech zkoušených teplotách jsou pro přehlednost uvedeny v *tabulce 3.6*.

Tab.: 3.6 Pevnosti lepených spojů ve smyku

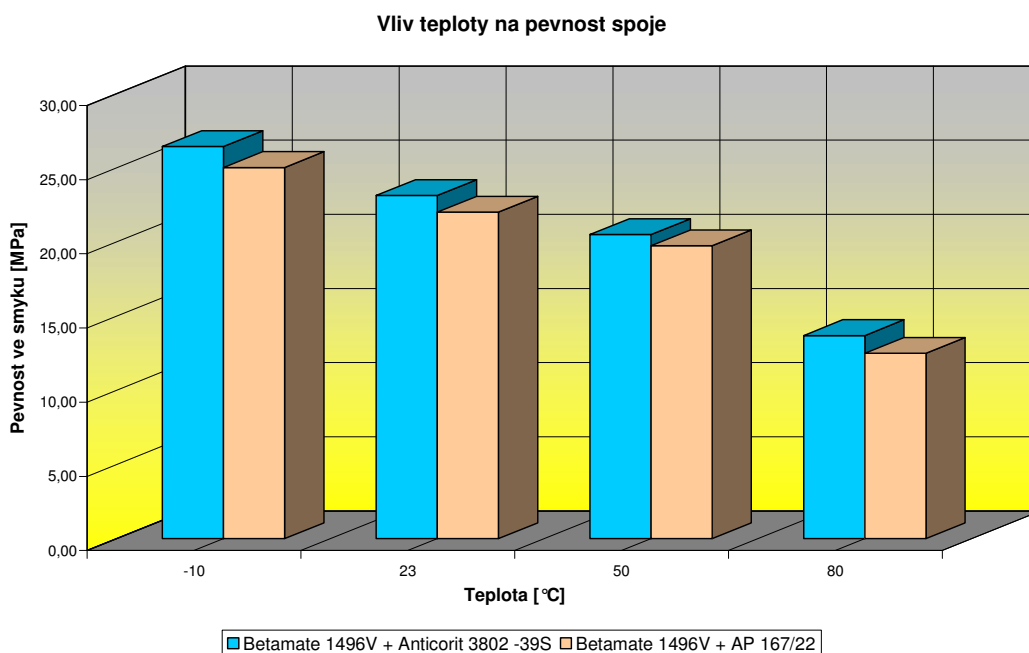
Lepidlo	Mazivo	Teplota			
		-10	23	50	80
Betamate 1496V	Anticorit 3802-39S	26,44 ± 0,38	23,13 ± 0,38	20,50 ± 0,51	13,69 ± 0,49
	AP 167/22	25,02 ± 0,36	22,01 ± 0,49	19,75 ± 0,39	12,50 ± 0,35
Togocoll PA 105 A1	Anticorit 3802-39S	13,45 ± 0,77	7,20 ± 0,90	5,15 ± 0,97	2,45 ± 0,30
	AP 167/22	14,68 ± 0,49	8,50 ± 0,74	6,42 ± 0,47	3,16 ± 0,29
SikaPower 490/7	Anticorit 3802-39S	24,96 ± 0,41	22,68 ± 0,61	19,90 ± 0,51	14,85 ± 0,43
	AP 167/22	25,20 ± 0,57	22,21 ± 0,62	20,52 ± 0,56	14,83 ± 0,56
Betaguard RB10BV	Anticorit 3802-39S	13,52 ± 0,59	13,05 ± 0,53	6,83 ± 0,51	3,97 ± 0,34
	AP 167/22	14,34 ± 0,48	14,66 ± 0,28	7,86 ± 0,69	4,91 ± 0,38

Hodnoty jsou udávány v MPa.

Z tabulky výsledků pevnostních zkoušek jednotlivých lepených spojů jsme získali následující grafy pro jednotlivá lepidla. V grafech jsou vždy dvě křivky pevnostního průběhu. Jedna odpovídá použitému mazivu Anticorit 3802-39S a druhá mazivu AP 167/22.

Pevnost ve smyku při zatěžování v tahu - PV 12.05

Pro lepidlo **Betamate 1496V**



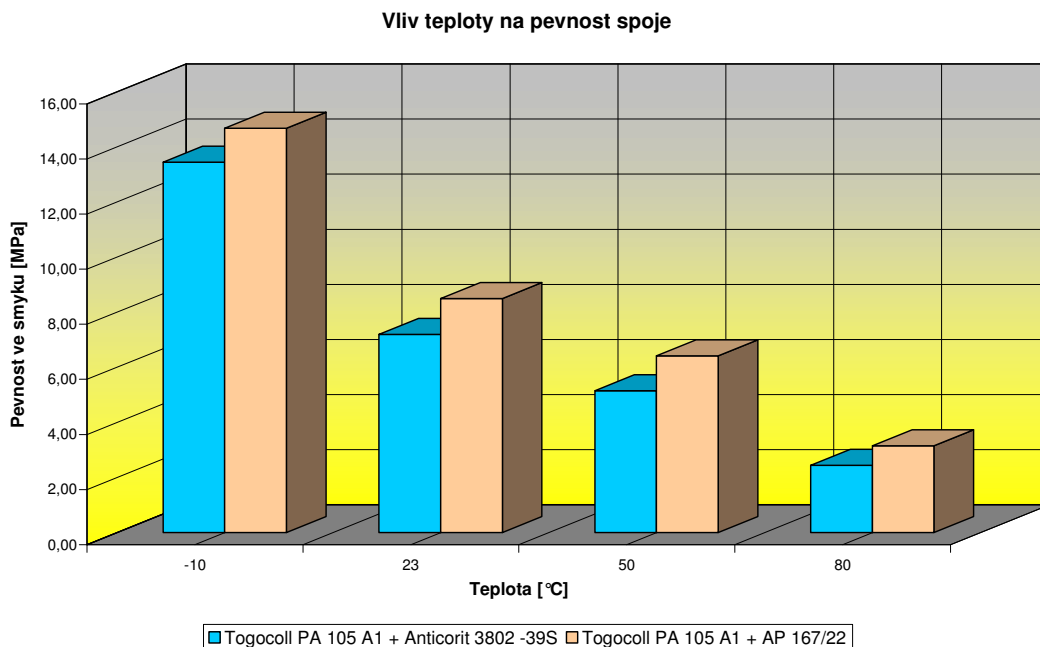
Obr. 3.11 Závislost pevnosti ve smyku lepeného spoje na teplotě okolí
při použití lepidla Betamate 1496V

Tab. 3.7 Hodnoty pevnosti ve smyku lepeného spoje v závislosti na teplotě okolí
při použití lepidla Betamate 1496V

Lepidlo	Mazivo	Teplota			
		-10	23	50	80
Betamate 1496V	Anticorit 3802-39S	26,44 ± 0,38	23,13 ± 0,38	20,50 ± 0,51	13,69 ± 0,49
	AP 167/22	25,02 ± 0,36	22,01 ± 0,49	19,75 ± 0,39	12,50 ± 0,35

Hodnoty jsou udávány v MPa.

Pro lepidlo Togocoll PA 105 A1



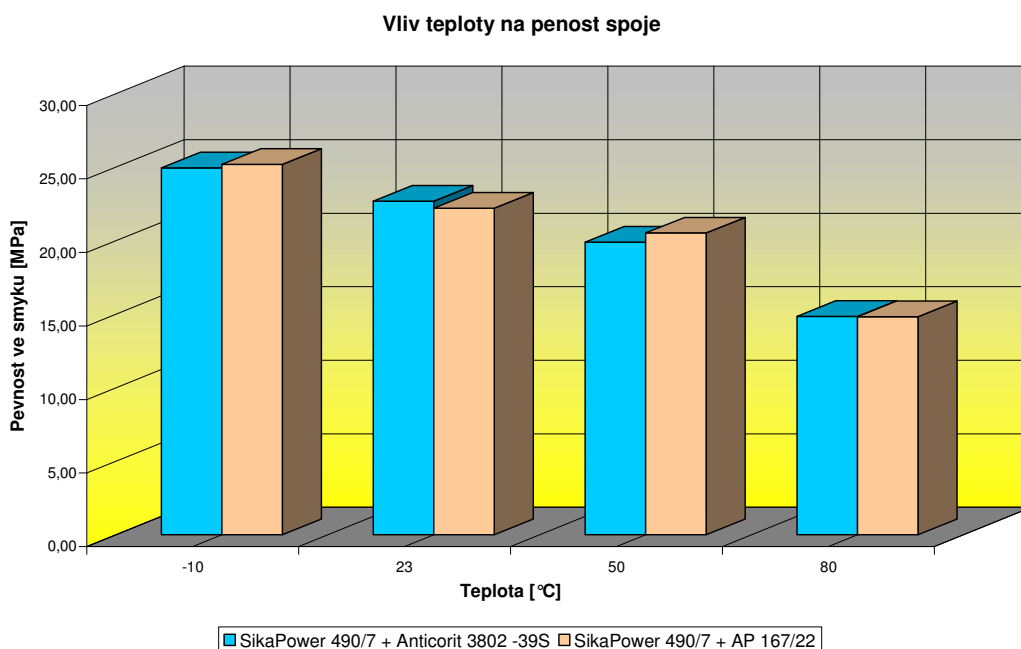
Obr. 3.12 Závislost pevnosti ve smyku lepeného spoje na teplotě okolí
při použití lepidla Togocoll PA 105 A1

Tab. 3.8 Hodnoty pevnosti ve smyku lepeného spoje v závislosti na teplotě okolí
při použití lepidla Togocoll PA 105 A1

Lepidlo	Mazivo	Teplota			
		-10	23	50	80
Togocoll PA 105 A1	Anticorit 3802-39S	13,45 ± 0,77	7,20 ± 0,90	5,15 ± 0,97	2,45 ± 0,30
	AP 167/22	14,68 ± 0,49	8,50 ± 0,74	6,42 ± 0,47	3,16 ± 0,29

Hodnoty jsou udávány v MPa.

Pro lepidlo SikaPower 490/7



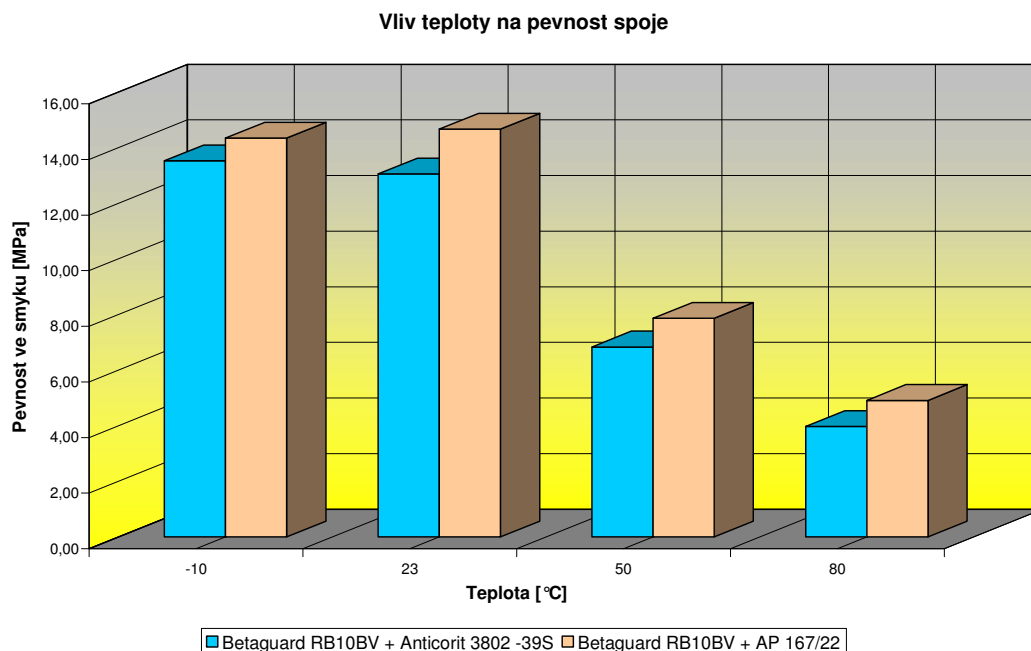
Obr. 3.13 Závislost pevnosti ve smyku lepeného spoje na teplotě okolí
při použití lepidla SikaPower 490/7

Tab. 3.9 Hodnoty pevnosti ve smyku lepeného spoje v závislosti na teplotě okolí
při použití lepidla SikaPower 490/7

Lepidlo	Mazivo	Teplota			
		-10	23	50	80
SikaPower 490/7	Anticorit 3802-39S	24,96 ± 0,41	22,68 ± 0,61	19,90 ± 0,51	14,85 ± 0,43
	AP 167/22	25,20 ± 0,57	22,21 ± 0,62	20,52 ± 0,56	14,83 ± 0,56

Hodnoty jsou udávány v MPa.

Pro lepidlo **Betaguard RB10BV**



Obr. 3.14 Závislost pevnosti ve smyku lepeného spoje na teplotě okolí
při použití lepidla *Betaguard RB10BV*

Tab. 3.10 Hodnoty pevnosti ve smyku lepeného spoje v závislosti na teplotě okolí
při použití lepidla *Betaguard RB10BV*

Lepidlo	Mazivo	Teplota			
		-10	23	50	80
Betaguard RB10BV	Anticorit 3802-39S	13,52 ± 0,59	13,05 ± 0,53	6,83 ± 0,51	3,97 ± 0,34
	AP 167/22	14,34 ± 0,48	14,66 ± 0,28	7,86 ± 0,69	4,91 ± 0,38

Hodnoty jsou udávány v MPa.

3.5.2. DRUHY PORUŠENÍ

Výsledky jednotlivých druhů porušení všech pevnostních zkoušek lepených spojů ve smyku při všech zkoušených teplotách jsou pro přehlednost uvedeny v *tabulce 3.11*.

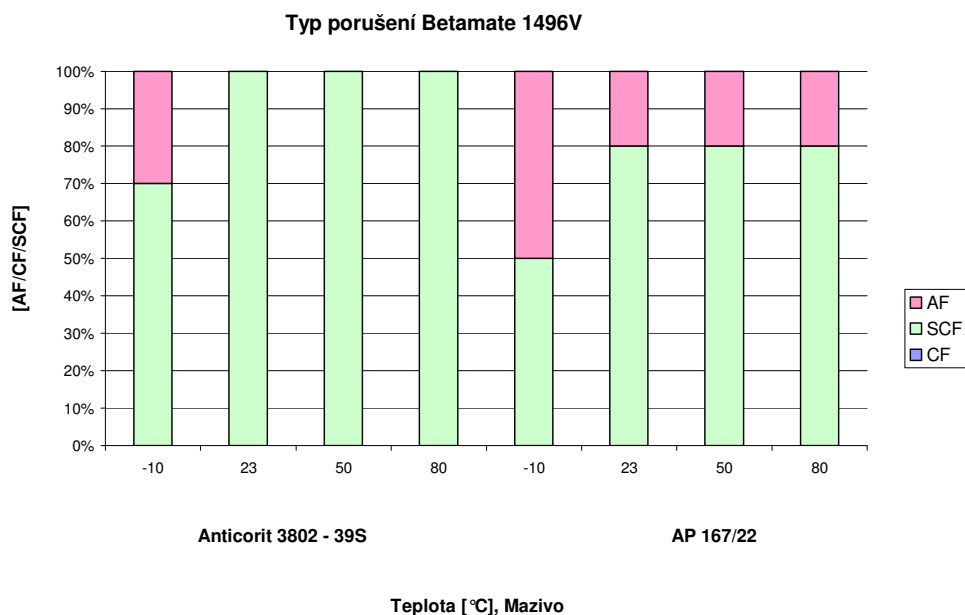
Tab.: 3.11 Druhy porušení lepených spojů

Lepidlo	Mazivo	Teplota											
		-10			23			50			80		
		CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF
Betamate 1496V	Anticorit 3802-39S	0	70	30	0	100	0	0	100	0	0	100	0
	AP 167/22	0	50	50	0	80	20	0	80	20	0	80	20
Togocoll PA 105 A1	Anticorit 3802-39S	0	5	95	0	5	95	0	5	95	0	0	100
	AP 167/22	20	10	70	10	10	80	20	10	70	20	10	70
SikaPower 490/7	Anticorit 3802-39S	0	100	0	0	100	0	20	80	0	20	80	0
	AP 167/22	0	95	5	0	95	5	0	95	5	0	95	5
Betaguard RB10BV	Anticorit 3802-39S	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	90	10
	AP 167/22	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	90	10

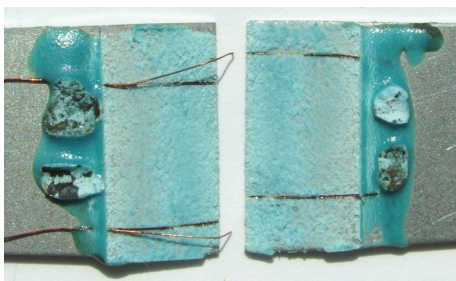
Hodnoty jsou udávány v %.

Následují grafy procentuálního zastoupení jednotlivých druhů porušení na lepených vzorcích s fotografickou ukázkou zástupce každé skupiny lepených spojů.

Pro lepidlo **Betamate 1496V**



Obr. 3.15 Poměr druhů porušení při zkušebních teplotách pro lepidlo Betamate 1496V



Obr. 3.16 Betamate 1496V na mazivu
Anticorit 3802-39S



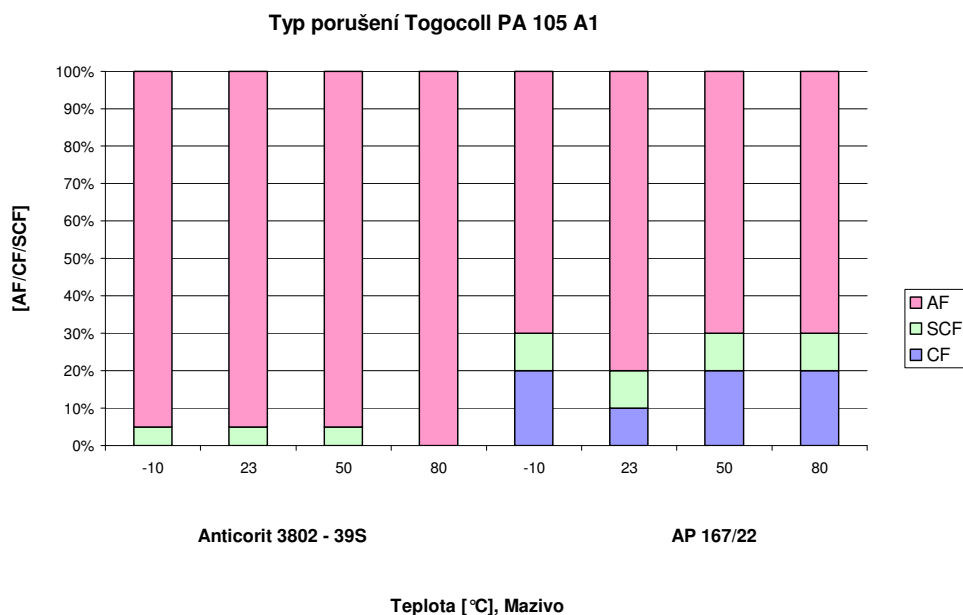
Obr. 3.17 Betamate 1496V na mazivu
AP 167/22

Tab. 3.12 Hodnoty porušení pro lepidlo Betamate 1496V

Lepidlo	Mazivo	Teplota											
		-10			23			50			80		
		CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF
Betamate 1496V	Anticorit 3802-39S	0	70	30	0	100	0	0	100	0	0	100	0
	AP 167/22	0	50	50	0	80	20	0	80	20	0	80	20

Hodnoty jsou udávány v %.

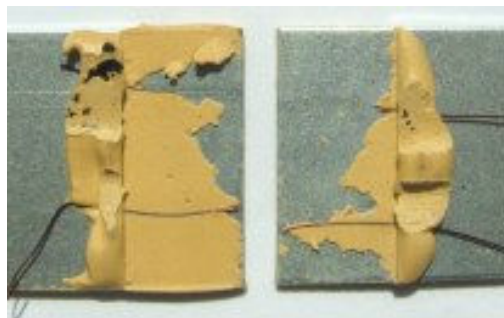
Pro lepidlo **Togocoll PA 105 A1**



Obr. 3.18 Poměr druhů porušení při zkušebních teplotách pro lepidlo Togocoll PA 105 A1



Obr. 3.19 Togocoll PA 105 A1 na mazivu
Anticorit 3802-39S



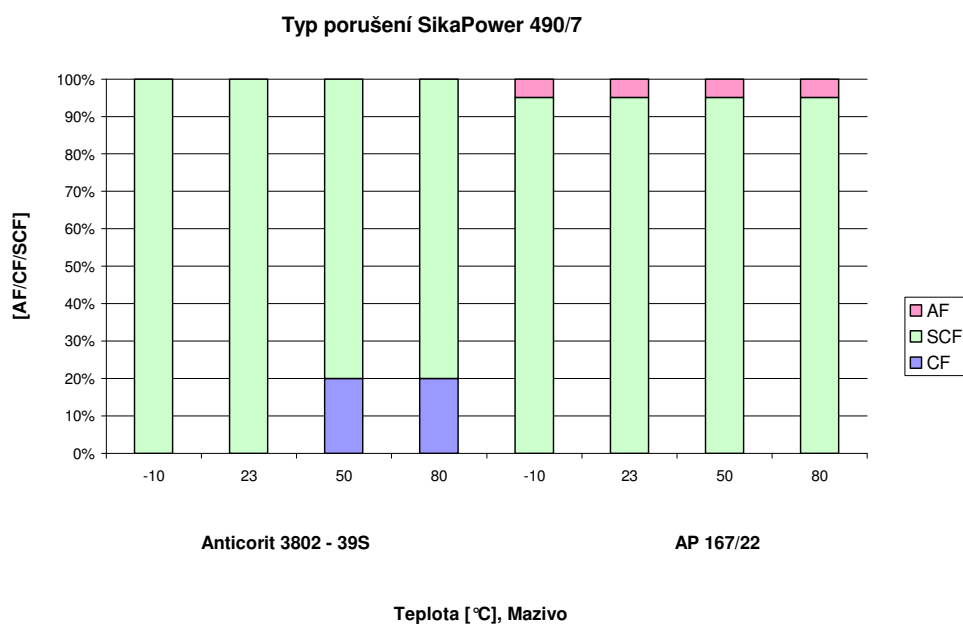
Obr. 3.20 Togocoll PA 105 A1 na mazivu
AP 167/22

Tab. 3.13 Hodnoty porušení pro lepidlo Togocoll PA 105 A1

Lepidlo	Mazivo	Teplota											
		-10			23			50			80		
		CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF
Togocoll PA 105 A1	Anticorit 3802-39S	0	5	95	0	5	95	0	5	95	0	0	100
	AP 167/22	20	10	70	10	10	80	20	10	70	20	10	70

Hodnoty jsou udávány v %.

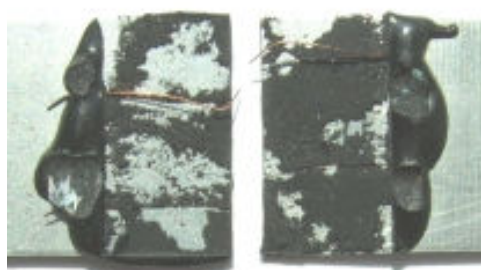
Pro lepidlo **SikaPower 490/7**



Obr. 3.21 Poměr druhů porušení při zkušebních teplotách pro lepidlo SikaPower 490/7



Obr. 3.22 SikaPower 490/7 na mazivu
Anticorit 3802-39S



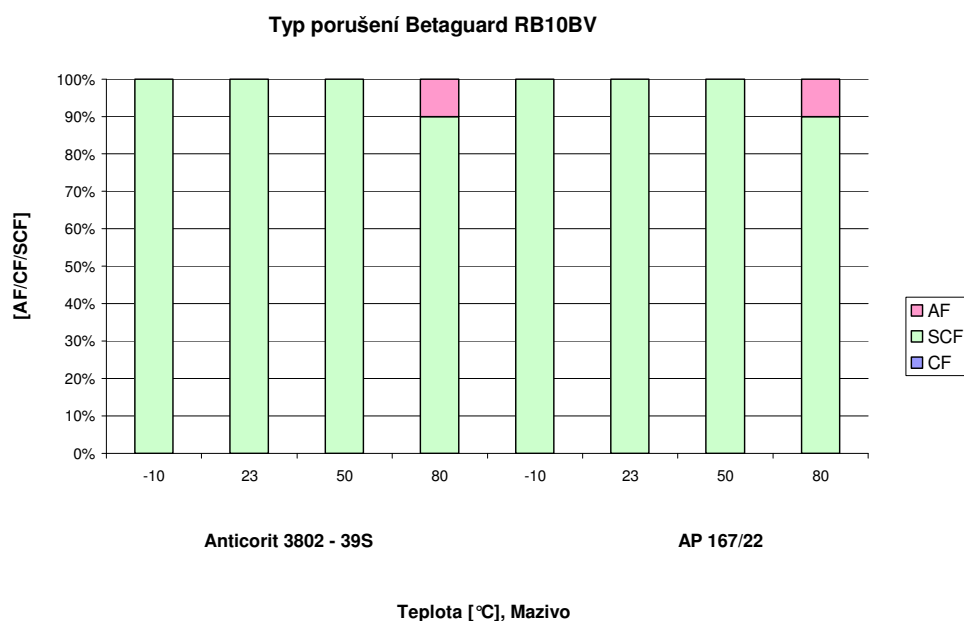
Obr. 3.23 SikaPower 490/7 na mazivu
AP 167/22

Tab. 3.14 Hodnoty porušení pro lepidlo SikaPower 490/7

Lepidlo	Mazivo	Teplota											
		-10			23			50			80		
		CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF
SikaPower 490/7	Anticorit 3802-39S	0	100	0	0	100	0	20	80	0	20	80	0
	AP 167/22	0	95	5	0	95	5	0	95	5	0	95	5

Hodnoty jsou udávány v %.

Pro lepidlo **Betaguard RB10BV**



Obr. 3.24 Poměr druhů porušení při zkušebních teplotách pro lepidlo Betaguard RB10BV



Obr. 3.25 Betaguard RB10BV na mazivu
Anticorit 3802-39S



Obr. 3.26 Betaguard RB10BV na mazivu
AP 167/22

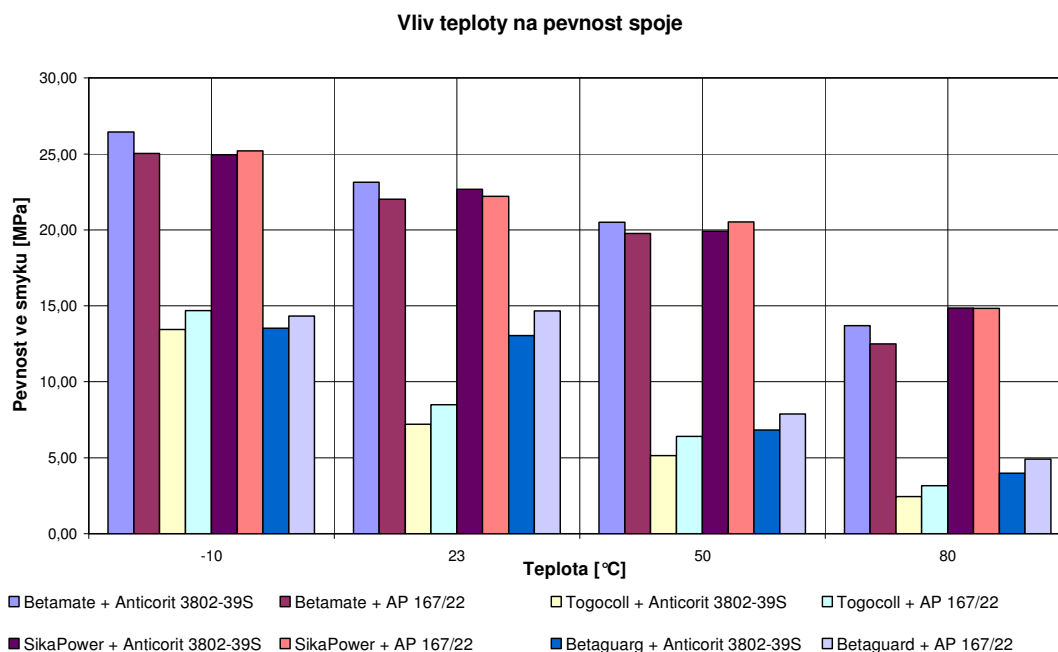
Tab. 3.15 Hodnoty porušení pro lepidlo Betaguard RB10BV

Lepidlo	Mazivo	Teplota											
		-10			23			50			80		
		CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF	CF	SCF	AF
Betaguard RB10BV	Anticorit 3802-39S	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	90	10
	AP 167/22	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	90	10

Hodnoty jsou udávány v %.

4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V následujícím grafu (obr. 4.1) jsou pro přehlednost zobrazeny křivky průběhů pevností ve smyku všech vzorků. Tyto hodnoty vypovídají o pevnosti lepeného spoje pro jednotlivé teploty, lepidla a použitá maziva. Tabulky naměřených hodnot obsahují pro redukci množství údajů pouze aritmetické průměry.



Obr. 4.1 Průběhy pevnostních zkoušek všech vzorků

Při zkoušce pevnosti lepených spojů ve smyku dle normy PV 12.05 byly zjištěny níže uvedené výsledky.

U lepidla Betamate 1496V bylo dosaženo nejvyšší pevnosti ve smyku při teplotě -10 °C a mazivu Anticorit 3802-39S a to hodnoty 26,44 MPa, nižší hodnotu vykazuje spoj při teplotě -10 °C a mazivu AP 167/22 a to 25,02 MPa, dále následovaly hodnoty dosažené při teplotě 23 °C, opět nepatrně vyšší u maziva Anticorit 3802-39S a to 23,13 MPa, u maziva AP 167/22 to bylo 19,75 MPa. Nižší hodnoty pevnosti vykazovaly spoje při zahřátí. Konkrétně při teplotě 50 °C měly spoje pevnost 20,50 MPa u maziva Anticorit 3802-39S a 19,75 MPa u maziva AP 167/22. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při teplotě 80 °C. Na mazivu Anticorit 3802-39S měly spoje v průměru pevnost 13,69 MPa a na mazivu AP 167/22 to bylo 12,50 MPa.

U lepidla Togocoll PA105 A1 bylo dosaženo nejvyšší pevnosti ve smyku při teplotě -10°C a mazivu AP 167/22 a to hodnoty 14,68 MPa, nižší hodnotu vykazuje spoj při teplotě -10°C a mazivu Anticorit 3802-39S a to 13,45 MPa, dále následovaly hodnoty dosažené při teplotě 23°C , opět nepatrně vyšší u maziva AP 167/22 a to 8,50 MPa, u maziva Anticorit 3802-39S to bylo 7,20 MPa. Při teplotě 50°C měly spoje pevnost 6,42 MPa u maziva AP 167/22 a 5,15 MPa u maziva Anticorit 3802-39S. Nejhorších výsledků bylo opět dosaženo při teplotě 80°C . Na mazivu AP 167/22 měly spoje pevnost 3,16 MPa a na mazivu Anticorit 3802-39S to bylo 2,45 MPa.

U lepidla SikaPower 490/7 bylo opět dosaženo nejvyšší pevnosti ve smyku při teplotě -10°C a mazivu AP 167/22 a to hodnoty 25,20 MPa, nepatrně nižší hodnotu vykazuje spoj při teplotě -10°C a mazivu Anticorit 3802-39S a to 24,96 MPa, dále následovaly hodnoty dosažené při teplotě 23°C , tam naopak nepatrně vyšší u maziva Anticorit 3802-39S a to 22,68 MPa, u maziva AP 167/22 to bylo 22,21 MPa. Při teplotě 50°C měly spoje pevnost 20,52 MPa u maziva AP 167/22 a 19,90 MPa u maziva Anticorit 3802-39S. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při teplotě 80°C . Na mazivu Anticorit 3802-39S měly spoje v průměru pevnost 14,85 MPa a na mazivu AP 167/22 to bylo 14,83 MPa.

U lepidla Betaguard BG10BV bylo dosaženo nejvyšší pevnosti ve smyku při teplotě -10°C a mazivu AP 167/22 a to hodnoty 14,34 MPa, nižší hodnotu vykazuje spoj při teplotě -10°C a mazivu Anticorit 3802-39S a to 13,52 MPa, dále následovaly hodnoty dosažené při teplotě 23°C , opět nepatrně vyšší u maziva AP 167/22 a to 14,66 MPa, u maziva Anticorit 3802-39S to bylo 13,50 MPa. Výrazně nižší hodnoty pevnosti vykazovaly spoje při zahřátí. Konkrétně při teplotě 50°C měly spoje pevnost 7,86 MPa u maziva AP 167/22 a 6,83 MPa u maziva Anticorit 3802-39S. Nejhorších výsledků bylo opět dosaženo při teplotě 80°C . Na mazivu AP 167/22 měly spoje pevnost 4,91 MPa a na mazivu Anticorit 3802-39S to bylo 3,97 MPa.

Zhodnocením typu porušení jednotlivých lepených spojů bylo zjištěno následující.

U lepidla Betamate 1496V bylo na mazivu Anticorit 3802-39S vyhodnoceno toto porušení při -10°C 70%SCF, 30%AF, při ostatních teplotách 100%SCF. Trochu rozdílná byla situace na mazivu AP 167/22. Tam bylo vyhodnoceno při -10°C 50%SCF, 50%AF, při ostatních teplotách 80%SCF a 20%AF.

U lepidla Togocoll PA105 A1 bylo na mazivu Anticorit 3802-39S vyhodnoceno porušení při teplotách -10°C , 23°C a 50°C 5%SCF a 95%AF, a při teplotě 80°C 100%AF. Rozdílná byla situace na mazivu AP 167/22. Tam bylo vyhodnoceno při teplotách -10°C , 50°C a 85°C 20%CF, 10%SCF a 70%AF, při teplotě 23°C 10%CF, 10%SCF a 80%AF.

U lepidla SikaPower 490/7 bylo na mazivu Anticorit 3802-39S vyhodnoceno shodné porušení při teplotách -10°C a 23°C 100%SCF a při teplotách 50°C a 80°C 20%CF a 80%SCF. Opět rozdílná byla situace na mazivu AP 167/22. Tam bylo vyhodnoceno při všech teplotách -10°C , 23°C , 50°C a 85°C shodné porušení 95%SCF a 5%AF.

U lepidla Betaguard BG10BV bylo na obou mazivech Anticorit 3802-39S i AP 167/22 vyhodnoceno shodné porušení při teplotách -10°C a 23°C a 50°C a to 100%SCF a při teplotě 80°C 90%SCF a 10%AF.

5. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem experimentu bylo zhodnotit vliv okolní teploty v rozmezí -10°C až $+80^{\circ}\text{C}$ a typu maziva na mechanické vlastnosti lepeného spoje, zejména na pevnost ve smyku a vyhodnocení jednotlivých typů porušení lepených spojů. Bylo použito čtyř druhů lepidel s různými mechanickými vlastnostmi a dvě maziva, používaná v automobilovém průmyslu.

Výsledky experimentu prokázaly velmi významný vliv teploty na pevnost lepeného spoje. S rostoucí teplotou značně klesá pevnost lepených spojů. Tento vliv byl shodný u všech použitých lepidel. Naopak, výrazný vliv mazadla na pevnost spoje nebyl zaznamenán.

U lepidla s nejvyšší pevností (Betamate 1496V) docházelo při nízkých teplotách k extrémnímu namáhání substrátu až za hranici meze kluzu materiálu. Docházelo k prodloužení plechů a bylo patrné, že plech byl v místě lepení více prohnut. Prohnutí bylo způsobeno koncentrací smykového napětí na koncích plechů v soustavě substrát – lepidlo, ke kterému se ještě přidalo napětí od dvojice tahových sil. S nárůstem teploty výrazně klesala pevnost lepidel a substráty byly namáhány méně, vznikaly menší špičky napětí na okrajích lepené plochy a plechy nebyly tolik deformovány. Vliv teploty na výslednou pevnost lepeného spoje byl zaznamenán ve všech případech všech typů spojů. S nárůstem teploty na +80 °C došlo u všech spojů k velmi významnému snížení pevností na méně, než polovinu hodnot oproti stavu při -10 °C.

Při hodnocení typu porušení se jako zásadní ukázal vliv druhu lepidla na výsledné porušení. Lepidlo Togocoll PA 105 A1 vykazovalo značné zastoupení adhezního porušení bez ohledu na zkušební teplotu, což může poukazovat na nevhodnou kombinaci použitého substrátu, maziva a lepidla. Ostatní lepidla při všech teplotách vykazovala kohezní typ porušení, což svědčí o vhodnější kombinaci a dokonalém přilnutí lepidla k substrátu.

Naopak celkem bezvýznamný vliv má teplota na druh porušení lepeného spoje. Nebyly zaznamenány žádné výrazné rozdíly typu porušení, které by bylo možno připsat na vrub změně teploty.

Nepatrně se projevil typ použitého maziva. Při všech teplotách byly zaznamenány menší rozdíly v typech porušení mezi mazivy Anticorit 3802-39S a AP 167/22.

Obecně platí, že pro lepený spoj je výhodnější kohezní druh porušení (CF), to znamená porušení uvnitř lepidla. Adhezní druh porušení (AF) je pro lepený spoj nevhodný. Tento druh porušení svědčí o nedokonalosti přilnutí lepidla k povrchu substrátu. Porovnáním druhů porušení všech spojů lze odvodit, že na výsledný typ porušení teplota spoje rozmezí teplot -10 °C až +80 °C nemá téměř žádný vliv.

6. ZÁVĚR

Na výsledné mechanické hodnoty lepeného spoje má největší význam druh lepidla použitého k vytvoření tohoto spoje. Zároveň se velmi důležitou pro pevnost lepeného spoje ukázala kombinace lepidlo – mazivo – substrát. U lepidla Togocoll PA 105 A1 námi použitá kombinace substrátu NIT a maziv Anticorit 3802-39S a AP 167/22 způsobila značné zastoupení adhezního porušení spoje při všech zkušebních teplotách, což poukázalo na nevhodnost této kombinace. Použitá lepidla v našem experimentu jsou různých druhů a svými vlastnostmi tak rozdílná, že nelze srovnávat výsledné hodnoty pevností mezi sebou. Lze však srovnávat výslednou pevnost spojů jednotlivých lepidel při různých teplotách.

Ze zjištěných výsledků experimentů vyplývá závěr, že hodnoty smykových pevností v tahu zjištěných podle normy PV 12.05 se pro jednotlivé provozní teploty spojů výrazně liší.

U všech testovaných lepidel bylo nejvyšších pevností lepených spojů prokázáno při nejnižší teplotě, tedy -10°C . S nárůstem teploty spojů se jejich pevnost výrazně snižovala. Při $+80^{\circ}\text{C}$ klesla pevnost spoje u lepidla SikaPower 490/7 na 58%, u lepidla Betamate 1496V na 51%, u lepidla Betaguard BG10BV na 32% a u lepidla Togocoll PA105 A1 dokonce na 22% maximální hodnoty pevnosti při -10°C .

Rozsah provozních teplot lepeného spoje bývá v automobilové praxi velmi široký. V našem experimentu jsme docílili minimální zkušební teploty -10°C . Nižších teplot, které by odpovídaly reálným provozním podmínkám lepených spojů, se nám nepodařilo dosáhnout, vzhledem k nemožnosti zabránění přenosu tepla jak z okolní atmosféry, tak od upínacích čelistí do zkušebního vzorku. Pro tyto záporné teploty by bylo třeba použít aktivně chlazenou tepelně izolační komoru, např. podobné konstrukce, jako jsme použili při zkoušení za kladných teplot. Další zkoušky při ještě nižších teplotách (např. při -35°C) by přispěly ke zpřesnění výsledků experimentu.

Nelze vyvodit objektivní závěry posouzení kvality lepeného spoje pro danou zkušební teplotu pouze z výsledků průběhu jednoho typu zkoušky. Bylo by třeba provést ještě řadu dalších (např. T-zkoušku v odlupování, zkoušku hodnocení rázové pevnosti lepených spojů apod.), které by mohly



svými výsledky doplnit informace, potřebné k posouzení lepeného spoje, jako celku a to hlavně při teplotách pod bodem mrazu. Také další zkoušky kombinací různých substrátů a maziv by mohly doplnit informace, potřebné pro komplexnější zhodnocení vlivu teploty na pevnost spoje.

Je velmi důležité nejprve zvážit, co od lepeného spoje očekáváme, za jakých podmínek bude provozován, či jakým podmínkám bude spoj vystaven. Vhodnou volbou lepidla a následným dodržením předepsaného technologického postupu obdržíme kvalitní, bezpečný spoj s dlouhou životností, který splní naše očekávání.

SEZNAM LITERATURY

- [1] KOVAČIČ, L.: *Lepenie kovov a plastov*. SNTL. Praha 1980.
- [2] PETERKA, J.: *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. SNTL. Praha 1980.
- [3] MÜLLER, M.: *Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepených spojů*. Tématický magazín, Svařování – dělení – spojování materiálů. TM vydavatelství. Praha 5/2003, s. 24, ISSN 1212 – 40444.
- [4] HISEM, P.: *Vliv podmínek vstřikování na smrštění výstřiků z termoplastů*. Disertační práce. TUL 2003.
- [5] MÜLLER, M.; BROŽEK, M.: *Technologie lepení – mechanická úprava lepeného povrchu*. Tématický magazín, Svařování – dělení – spojování materiálů, TM vydavatelství, Praha 2/2004, s. 56-57, ISSN 1212 - 4044.
- [6] SOBOTKA, Z.: *Reologie hmot a konstrukcí*. Academia. Praha 1981
- [7] ČSN ISO 10365 – Lepidla - Označení hlavních typů porušení lepeného spoje. ČNI, Praha, 1995.
- [8] PV 12.05 – Bestimmung der Zugscherfestigkeit für Bördelnaht und Strukturklebstoffe, Volkswagen AG, 2003.
- [9] ČSN EN 1465 – Lepidla - Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na přeplátovaných tělesech. ČNI, Praha, 1997.
- [10] POKLUDA, J.; KROUPA, F.; OBDRŽÁLEK, L.: *Mechanické vlastnosti a struktura pevných látek (Kovy, keramika, plasty)*. VUT v Brně, PC-DIR spol. s r.o. – nakladatelství. Brno, 1994.
- [11] ŠTĚPEK, J.; ZELINGER, J.; KUTA, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL. Praha, 1989.
- [12] ŠTĚPÁN, J.: *Vliv typu zinkového povlaku na vlastnosti lepeného spoje u karosářských plechů*. Diplomová práce. TUL 2004.
- [13] HROBSKÝ, D.: *Vliv parametrů vytvrzování na pevnost lepeného spoje při lepení karosářských plechů*. Diplomová práce. TUL 2005.
- [14] BROŽEK, M.: *Technologické vlastnosti sekundových lepidel*. Sborník "OPERATIONAL DEPENDABILITY OF MACHINES ´2000", ČZU, Praha, 2000, 111 s., ISBN 80-213-0631-9



- [15] ČSN EN ISO 11339 - Lepidla - T-zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů. ČNI, Praha, 2005.
- [16] ČSN EN ISO 9653 - Lepidla - Zkušební metoda pro hodnocení rázové pevnosti lepených spojů ve smyku. ČNI, Praha, 2001.
- [17] ČSN EN ISO 9664 - Lepidla - Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku tahem. ČNI, Praha, 1997.
- [18] SOLFRONK, P.: *Vliv morfologie povrchu plechu na rozvoj deformace při tažení výlisků z plechu*. Disertační práce. TUL 2003.
- [19] HISEM, P. ; ELISOVÁ, L.: Využití lepení ve stavbě automobilových karoserií. *Tématický magazín, Svařování - dělení – spojování materiálů*. TM vydavatelství. Praha 5/2003, s. 32, ISSN 1212 - 40444.
- [20] Technický informační list. www.fuchs-oil.cz.
- [21] Technický informační list. www.sika.ch.
- [22] Technický informační list. www.ems-group.com.



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Smyková pevnost – zkouška tahem dle normy PV12.05

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

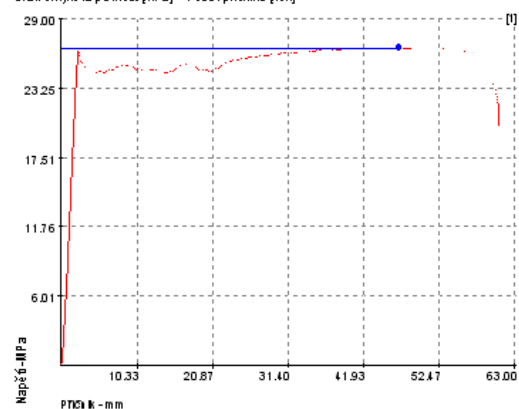
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	26,58
2	26,49
3	26,64
4	26,72
5	26,78
x	26,44
s	0,38

Typ porušení [%]	CF SCF AF	70 30

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

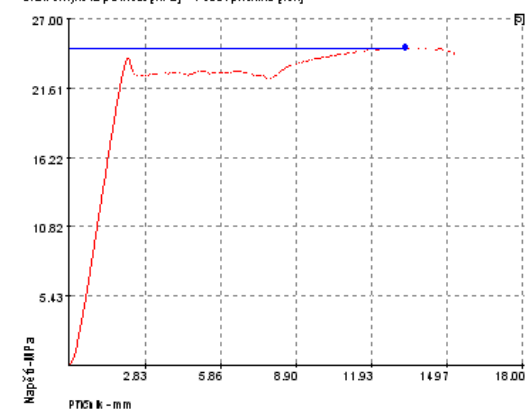
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	25,18
2	25,49
3	24,60
4	25,12
5	24,73
x	25,02
s	0,36

Typ porušení [%]	CF SCF AF	50 50

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

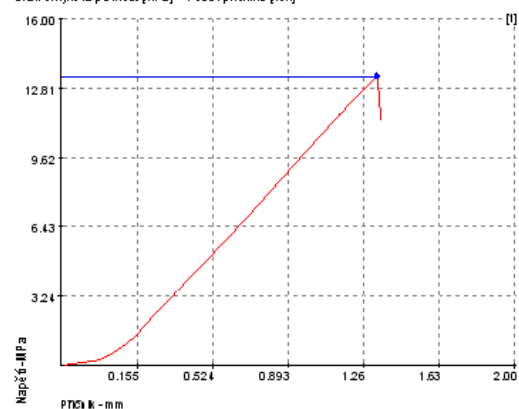
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	13.34
2	14.21
3	12.69
4	12.72
5	14.27
x	13.45
s	0.77

Typ porušení [%]	CF SCF AF	5 95
---------------------	-----------------	---------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

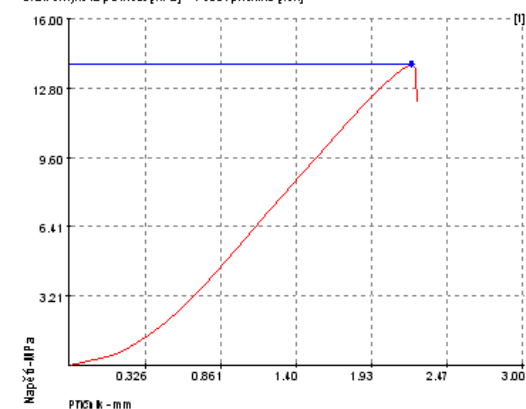
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	13.89
2	15.13
3	15.00
4	14.57
5	14.81
x	14.68
s	0.49

Typ porušení [%]	CF SCF AF	20 10 70
---------------------	-----------------	----------------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

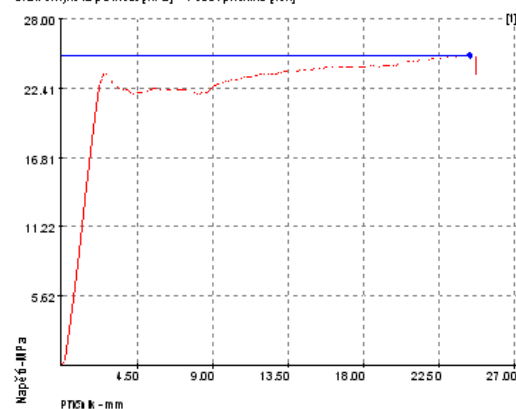
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodléva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	Rm MPa
1	25.00
2	24.27
3	25.31
4	25.25
5	24.99
x	24.96
s	0.41

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vstlib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

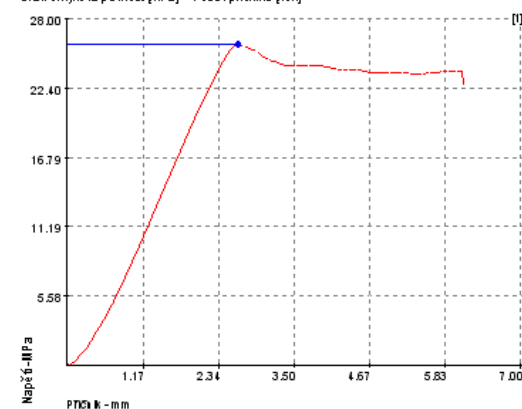
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodléva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	Rm MPa
1	25.89
2	24.75
3	25.71
4	24.64
5	25.02
x	25.20
s	0.57

Typ porušení [%]	CF SCF AF	95 5
---------------------	-----------------	---------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vstlib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

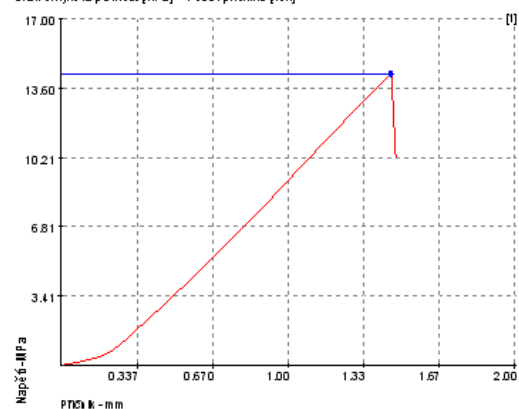
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	14.27
2	14.04
3	13.09
4	13.00
5	13.21
x	13.52
s	0.59

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.xslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

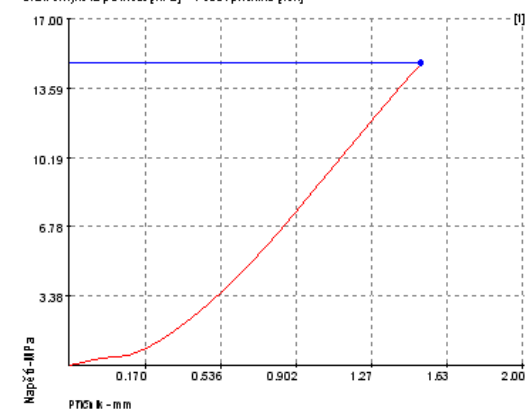
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : -10 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	14.80
2	14.82
3	13.72
4	14.01
5	14.34
x	14.34
s	0.48

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.xslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

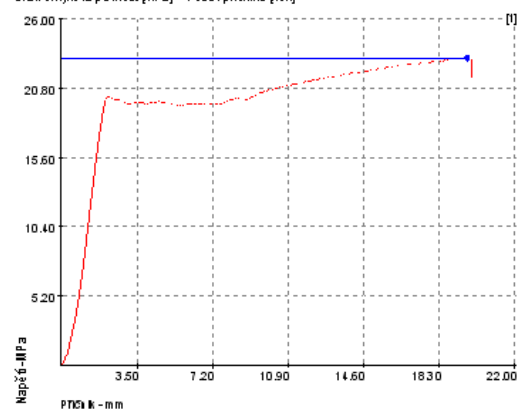
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	23.01
2	23.49
3	22.88
4	23.56
5	22.71
x	23.13
s	0.38

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

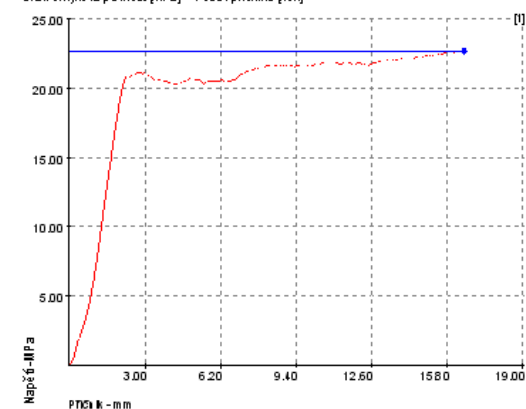
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	22.64
2	22.05
3	22.26
4	21.76
5	21.34
x	22.01
s	0.49

Typ porušení [%]	CF SCF AF	80 20
---------------------	-----------------	----------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

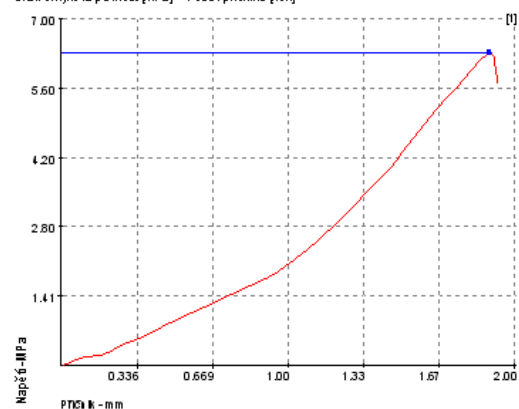
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vjorzoování vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	6.31
2	7.84
3	7.37
4	8.24
5	6.24
x	7.20
s	0.90

Typ porušení [%]	CF SCF AF	5 95
---------------------	-----------------	---------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

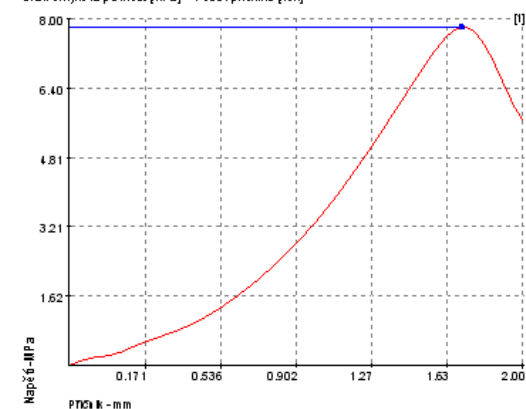
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleva, naneseí lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vjorzoování vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	7.81
2	7.61
3	8.85
4	9.12
5	9.13
x	8.50
s	0.74

Typ porušení [%]	CF SCF AF	10 10 80
---------------------	-----------------	----------------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

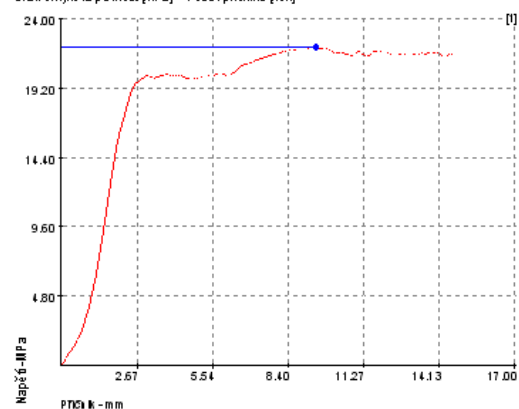
Testované lepidlo : Sika Power 490/7
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	21.99
2	23.02
3	22.08
4	22.92
5	23.37
x	22.68
s	0.61

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

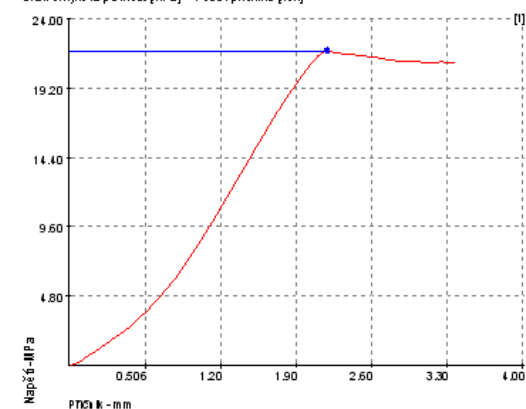
Testované lepidlo : Sika Power 490/7
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	21.76
2	22.18
3	23.00
4	22.64
5	21.50
x	22.21
s	0.62

Typ porušení [%]	CF SCF AF	95 5
---------------------	-----------------	---------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

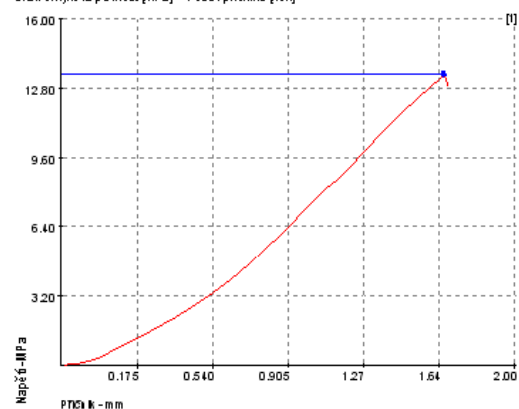
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	13,42
2	12,82
3	12,68
4	13,78
5	12,55
x	13,05
s	0,53

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

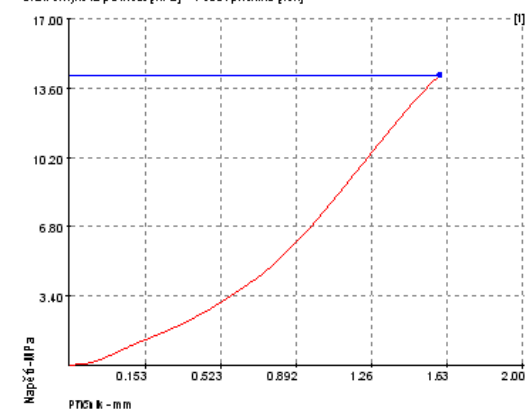
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 23 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	14,22
2	14,97
3	14,81
4	14,65
5	14,57
x	14,66
s	0,28

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčník [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

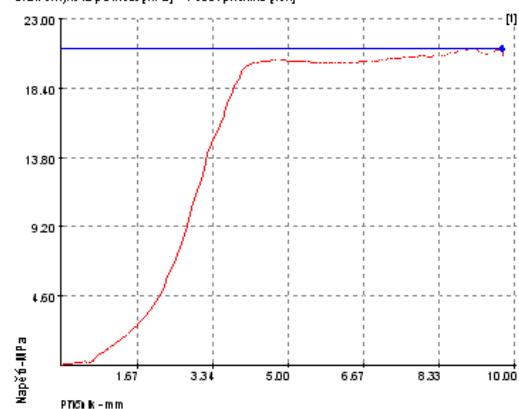
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	20.98
2	20.53
3	19.64
4	20.75
5	20.60
x	20.50
s	0.51

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

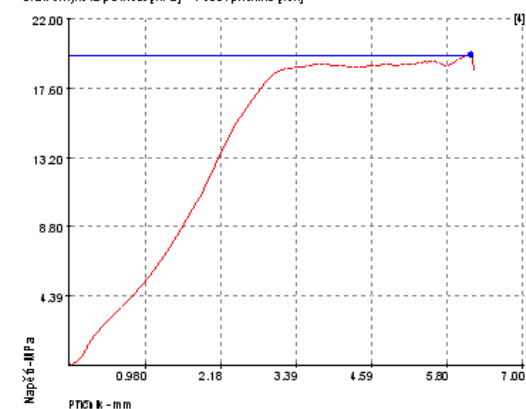
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	19.50
2	20.27
3	19.31
4	19.67
5	20.02
x	19.75
s	0.39

Typ porušení [%]	CF SCF AF	80 20
---------------------	-----------------	----------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

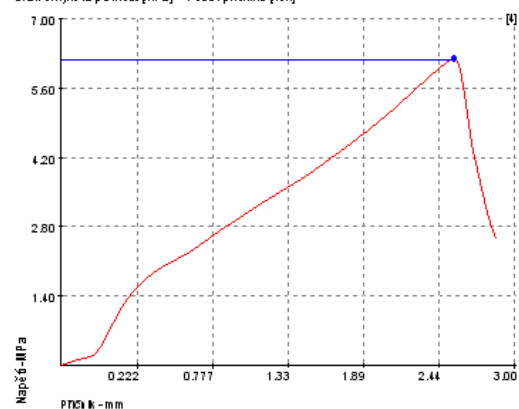
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	4.66
2	4.48
3	4.22
4	6.18
5	6.23
x	5.15
s	0.97

Typ porušení [%]	CF SCF AF	5 95
---------------------	-----------------	---------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

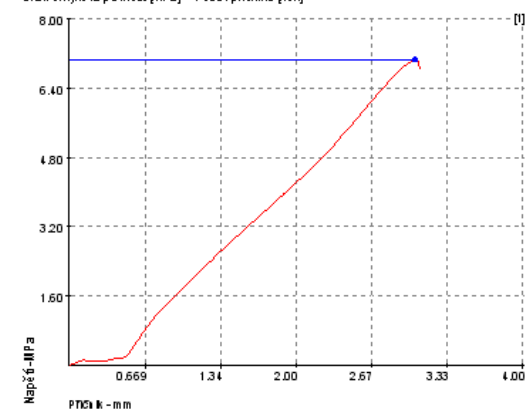
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	7.05
2	6.43
3	6.59
4	6.25
5	5.76
x	6.42
s	0.47

Typ porušení [%]	CF SCF AF	20 10 70
---------------------	-----------------	----------------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

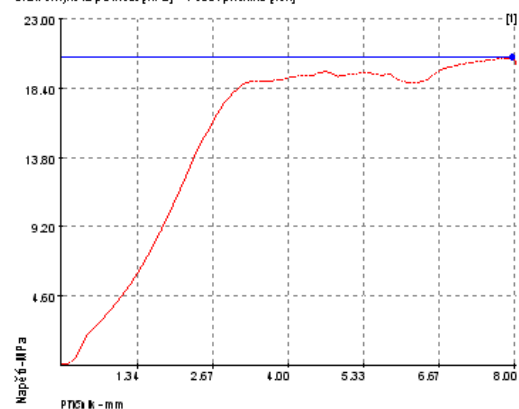
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	20.42
2	19.86
3	20.10
4	20.06
5	19.06
x	19.90
s	0.51

Typ porušení [%]	CF SCF AF	20 80

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

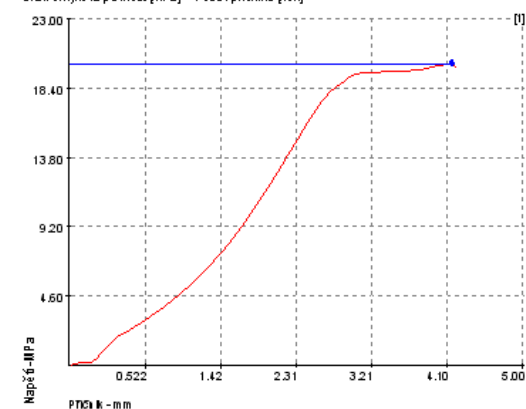
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanášení maziva, 1 hodina prodleva, nanášení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	20.02
2	19.81
3	20.94
4	20.87
5	20.98
x	20.52
s	0.56

Typ porušení [%]	CF SCF AF	95 5

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

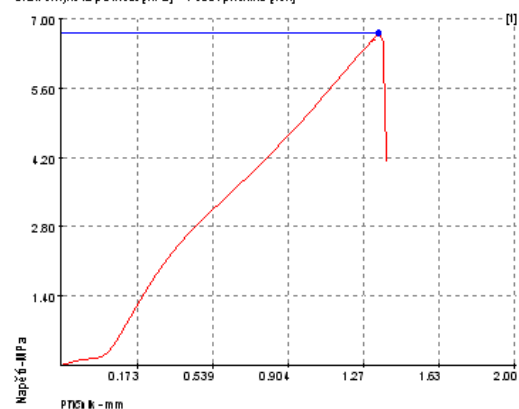
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	6.71
2	6.39
3	6.68
4	6.66
5	7.71
x	6.83
s	0.51

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpříčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

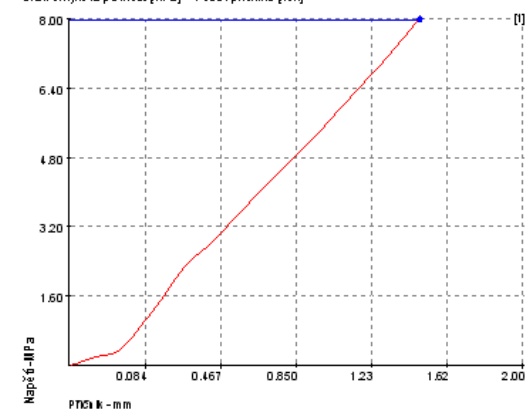
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 50 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	7.98
2	8.02
3	8.42
4	8.21
5	6.65
x	7.86
s	0.69

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpříčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

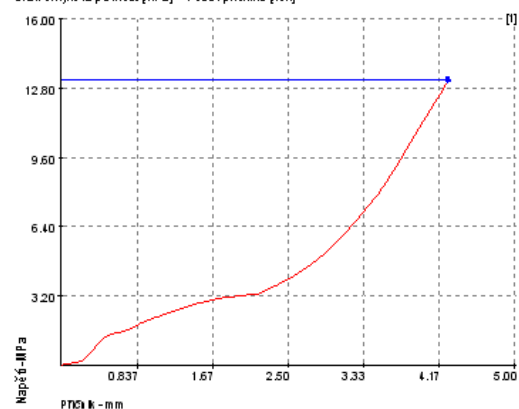
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	13,16
2	14,21
3	13,41
4	14,22
5	13,43
x	13,69
s	0,49

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

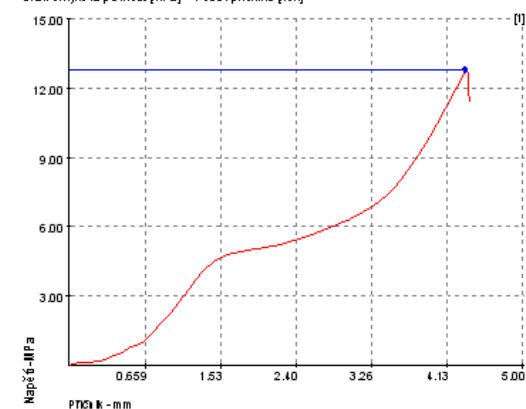
Testované lepidlo : Betamate 1496V
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	12,78
2	12,40
3	12,22
4	12,95
5	12,17
x	12,50
s	0,35

Typ porušení [%]	CF SCF AF	80 20
---------------------	-----------------	----------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůstek [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

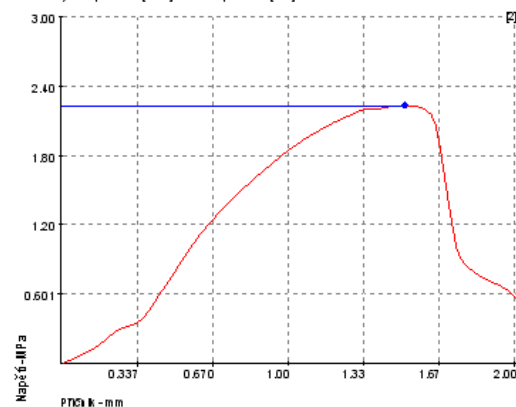
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	2.10
2	2.23
3	2.47
4	2.51
5	2.84
x	2.45
s	0.30

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

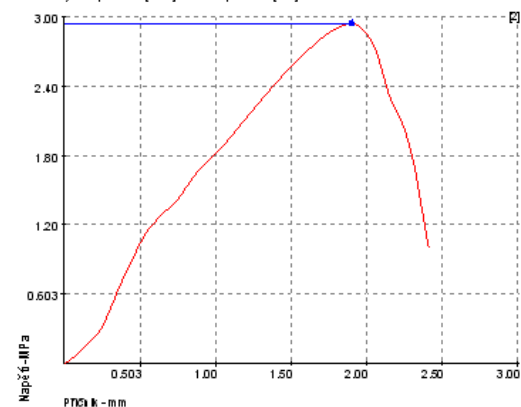
Testované lepidlo : Togocoll PA 105 A1
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	3.45
2	2.94
3	2.91
4	3.00
5	3.49
x	3.16
s	0.29

Typ porušení [%]	CF SCF AF	20 10 70
---------------------	-----------------	----------------

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

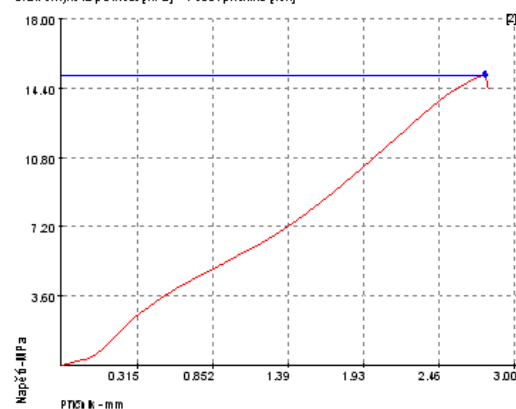
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleíva, naneseí lepida a slepení vzorků,
 1 hodina prodleíva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	14.44
2	15.08
3	14.41
4	15.43
5	14.87
x	14.85
s	0.43

Typ porušení [%]	CF SCF AF	20 80

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

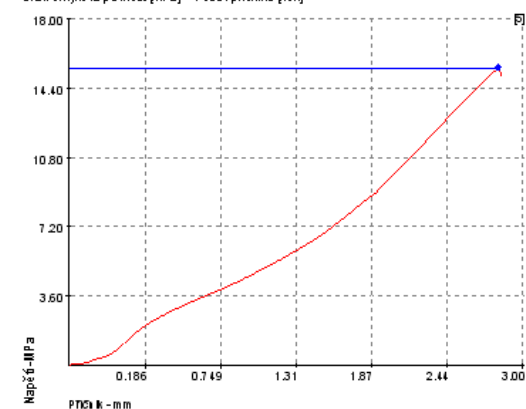
Testované lepidlo : SikaPower 490/7
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Naneseí maziíva, 1 hodina prodleíva, naneseí lepida a slepení vzorků,
 1 hodina prodleíva, vytvození vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	14.25
2	14.34
3	14.75
4	15.36
5	15.44
x	14.83
s	0.56

Typ porušení [%]	CF SCF AF	95 5

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřičniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.wksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05**Vstupní hodnoty**

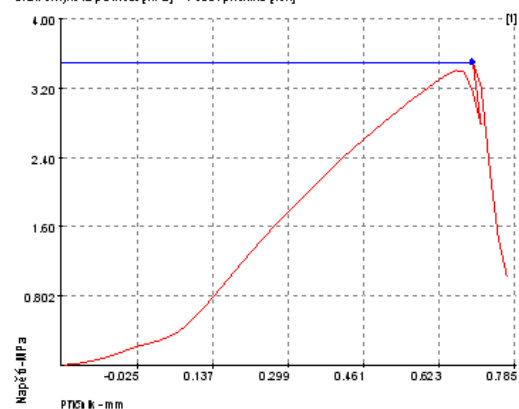
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	3.50
2	3.99
3	4.23
4	3.78
5	4.34
x	3.97
s	0.34

Typ porušení [%]	CF SCF AF	90 10

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05**Vstupní hodnoty**

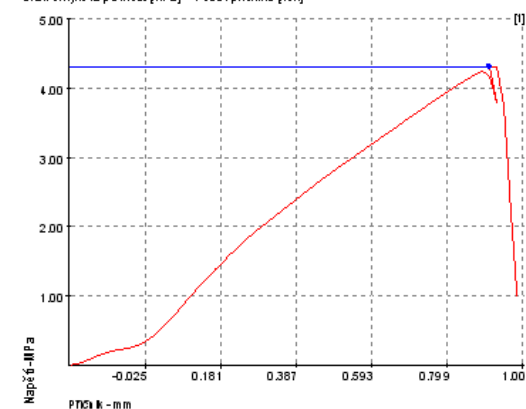
Testované lepidlo : Betaguard RB 10 BV
 Testované mazivo : AP 167/22
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG+NIT
 Zkušební teplota : 80 °C
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodleva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodleva, vytváření vzorků

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	4.31
2	5.30
3	5.12
4	5.00
5	4.83
x	4.91
s	0.38

Typ porušení [%]	CF SCF AF	90 10

Graf: Smyková pevnost [MPa] -- Posuvpřírůčníku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.uslib.cz>

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature